



A 0969



هو الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون \* في تطبيق  
الهندسة على الفنون \* أبرزه من الفرنسية الى العربية  
راجي رحمة المعيد المبدى \* الفقير لمولاه السيد  
صالح افندي \* غفر الله ذنوبه وستر  
في الدارين عيوبه

امين



فهرسة الجزء الثانى من كتاب كشف رموز السر المصون  
فى تطبيق الهندسة على الفنون

صحيحة

٢	بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة
٢	الدرس الاول فى ذكر مجموع الاقيسة المستعملة فى الفنون الميكانيكية
٢	على العموم
٣	بيان الاقيسة الهندسية
٣	بيان اقيسة الطول
٧	بيان
٨	بيان
٨	بيان
٩	بيان
	الدرس
	ن التحرك الاولى
٢١	وتطبيقها على الآلات
٢٤	بيان قوانين التحرك الاولى
٢٥	بيان التوازن
٣٦	بيان التناقل
٤٢	الدرس الثالث فى بيان القوى المتوازية
	الدرس الرابع فى بيان مراكز ثقل الآلات ومحصلات الصناعة وفى كية
٥٨	القوى
٦٤	بيان مركز ثقل السطوح
٦٤	بيان مركز ثقل المثلث
٦٥	بيان مركز ثقل ذى اربعة الاضلاع
٦٧	بيان مقادير القوى المتوازية
٨٢	بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام

٨٤	الدرس الخامس في بيان ما بقى من قوانين التحرك
	الدرس السادس في بيان الآلات البسيطة وهي الحبال والقناطر
	المعلقة وعدد خيول العربات وإدوات السفن ولوازمها وما أشبه
١٠٣	ذلك
١٠٣	بيان الحبال
١٠٦	بيان الكبش (أى الشامردان) وهو الآلة المعدة لدق الخواير
١١٩	بيان القناطر المعلقة
	الدرس السابع في بيان ما بقى من الحبال وفي التحركات المستديرة
	للحبال والقضبان والعجلات والطيارات وفي مقادير الأبرص
١٢٦	وفي البندولات
١٤٧	بيان البندول
١٥٧	بيان معادل الآلات البخارية
١٥٨	الدرس الثامن في بيان الرافعة
١٦٦	بيان الرافعة التى من النوع الأول
١٧٢	بيان الرافعة التى من النوع الثانى
١٧٢	بيان الرافعة التى من النوع الثالث
١٧٥	الدرس التاسع في بيان البكرات والملفات
١٨٠	بيان البكر المتحرك
١٨٩	بيان التناقل فى البكرات
١٩٨	الدرس العاشر في بيان المنجنون والطارات المضترسة
٢٠٣	بيان تأثيرات التناقل فى المنجنون
	الدرس الحادى عشر في بيان التوازن على المستويات الثابتة
٢١٩	والمستويات المائلة وسكك الحديد التى مستوياتها مائلة
٢٣٨	بيان المستويات المائلة

٢٤٤	الدرس الثاني عشر في بيان البريمة والالتواء والحبال والخابور
٢٥٢	وسائر الآلات التي من هذا القبيل
٢٥٤	بيان التواء الحبال
٢٦٥	بيان الخابور
٢٨٦	الدرس الثالث عشر في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك
٣٠٧	الدرس الرابع عشر في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم
	الدرس الخامس عشر في بيان اصطدام الاجسام



بيان ما وقع من الخطأ والصواب في الجزء الثاني من كتاب كشف رموز  
السرايمصون في تطبيق الهندسة على الفنون .

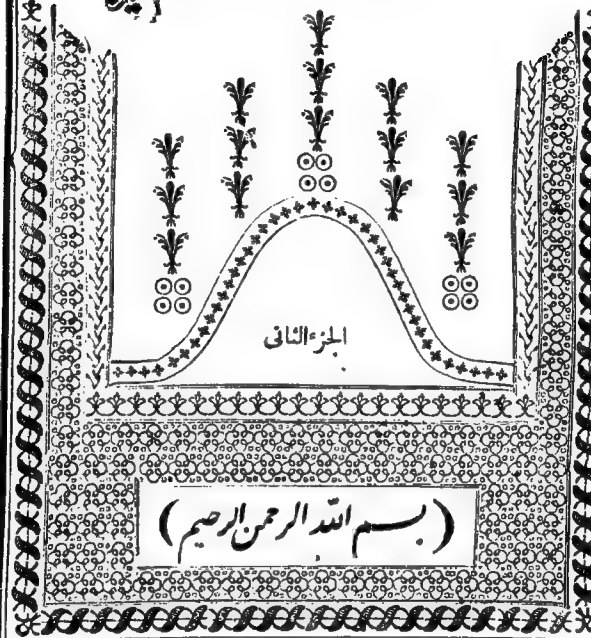
خطا	صواب	صحيفة	سطر
اقيسة الاتساع	المكايل	٨	١
اوالاتساع	اوالمكايل	٨	٢
اقيسة السعة	المكايل	١٣	١٤
ومواد التجارة	وآلات التجارة	١٣	٢٣
عتتها	اعتتها	١٣	٢٤
وا	وا	٣٣	١٧
ا	ا	٣٣	١٨
ا	ا	٣٣	١٩
ا	ا	٣٣	٢٤
كمية القوى	مقادير القوى	٥٨	١٣
متألفا	متألف	٦٠	١٠
ع	غ	٧٢	١٣
جلاظفة	صناع	٧٣	٧
٢	$\frac{1}{4}$	٧٥	٣
ع غ	غ غ	٧٥	٩
ع غ	غ غ	٧٥	١١
ص	ض	٨١	٦
ك ص	ك ض	٨١	٧
عند مركز	عن مركز	٨١	١٠
م ص	م ض	٩٨	١٥
و ح ح	و ح ح	٩٨	١٧
اذا انزلنا	اذا انزلنا	٩٩	٥

خطا	صواب	صحيفة	سطر
اي المتجنق	اي المتجنون (وهكذا كلما جاء في هذا	١٠٣	١٢
	الجزء متجنق فصوابه متجنون)		
بالنظرت	بالنظريات	١٠٣	١٨
ث صه ز صه	ث صه ز صه	١٠٨	٥
اسه	اصه	١٠٩	١٤
فص	فض	١٣٥	١٦
و غ م	و غ م	١٣٨	١٦
فتكون م التي هي كية	فتكون كية فتحرل م	١٤٢	٢
التحرل			
من نقطة ل	من نقطة د	١٦٥	٢١
على لسان	على جالة	١٦٦	٢٠ و ١٩
لقوة س	لقوة سه	١٧١	٢١
وهور	وهول	١٧٤	٩
ل	ل	١٧٤	١٨
س	س	١٧٤	١٩
خ	خ	١٧٨	٢
خ	خ	١٨٤	٤
خ	خ	١٨٥	٩
ث	ث	٢٠٢	٩
ونقطة	ونقط	٢٠٤	١٢
من ثقل	من مركز ثقل	٢٠٤	٢٣
مركبة	مركبة (شكل ٤)	٢٠٥	٢٠

خطا	صواب	صحيفه	سطر
العيار	العيار (شكل ٦)	٢٠٦	١٦
ويجبره	ويجبره	٢١١	٣
كالقرص	كالدولاب	٢١٤	١٠ و ٨
أب اب	أب اب	٢١٥	٤
ز=	ز=	٢١٥	١٦
ز×	ز×	٢١٥	١٧
ح ع	ح غ	٢٢٢	٦
وذوات	وذات	٢٢٣	٢٥
م ب	م ب	٢٢٥	١٣
الرياح الطبية	المصاريف	٢٣٥	٢
طاقات	حالات	٢٣٦	٨
ف=	ف=	٢٥١	١٧
ح	خ	٢٥٧	١٩
من اطرافهما	من اطرافهما	٢٦٧	٦
استبدلوا	فاستبدلوا	٢٦٨	٢٣
رمانة القبان	القبان	٢٧٣	٢٢
٢٠٠٠٠٧	١٠٠٠٠٠٧		
١٠٠٠٠٧	١٤٢:	٢٧٤	١٥
١٠٠٠٠٧: ١٦ الخ	١٠٠٠٠: ١٦ الخ	٢٨٤	٧ و ٦
فكي الكاشة	فكي المنحة	٢٨٨	١٤







(بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة)

\* (الدرس الأول) \*

(في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية على العموم)

اعلم ان خواص الاجسام المادية قابله للقياس وبقياسها يحدث في علم الحساب طريقة تقويم النسب الموجودة بين الخواص المتماثلة والدرجات المتنوعة من كل خاصية

ثم ان البحث عن طرق تحصيل قياس هذه الخواص من موضوعات علم الطبيعة الاصلية وكلما ظهر فرع جديد من هذا العلم يلزم ايجاد اقيسة للنسب الجديدة التي تظهر منه وكل من هذه الاقيسة يوصل عادة الى معارف لا يمكن اكتسابها بدون العلم المذكور

لنقتصر الآن على معرفة الاقيسة التي لا بد منها في علم الميكانيكا واما الاقيسة  
لاصلية التي لا فائدة لها الا في بعض فروع من هذا العلم وفي بعض فنون فنيينها  
مرتبة عند الكلام على المواد الاصلية المتعلقة بها

\*( بيان الاقيسة الهندسية ) \*

طلق الاقيسة الهندسية على اقيسة الامتداد وهي المسافات والسطوح  
والججوم وتستعمل تلك الاقيسة في علم الميكانيكا لاجل قياس المسافات  
لمشغولة والمقطوعة بالنقط والخطوط والسطوح والاجسام

\*( بيان اقيسة الطول ) \*

تفقوا على انه يمكن اخذ جزء من خط مستقيم كثير الامتداد او قليله وجعله  
وحدة للطول وانه يمكن ايضا تغيير هذه الوحدة على حسب الارغبة والامكنة  
والاحتياجات والاحوال ومن ثم ترى الفرنسية والبنسالية والايطاليتين  
والانكليز واغلب الملل يستعملون لقياس الاطوال وحدة مختلفة بل ترى  
في الغالب الامة الواحدة تستعمل في اقاليمها المتسعة اقيسة الطول غير متماثلة  
بالكلية

ومثل هذا الاختلاف ينشأ عنه خطأ كبير في عمليات الفنون والتجارة وما به  
مخاطرة الاهالي وارتباط بعضهم ببعض وبواسطته يلزم معرفة نسبة الاحاد  
المتضادة المعدة لقياس الاشياء المتجانسة معرفة صحيحة تامة فاذا اردنا عمل  
ما يلزم من الحسابات للاشغال الميكانيكية والنقل والبيع والشراء يلزم  
تحويل الارقام لاجل معرفة المقدار الحقيقي للابعاد والاسعار .

وبقطع النظر عما يترتب على هذا التحويل من ضياع الزمن وجهه في وسائط  
التحويل المذكور نقص بين يغش به من ليس معه زمن كاف او لا قدرة له  
على فهم مثل تلك الحسابات المشككة التي لم تزل آخذة في الزيادة فاذن يجب  
على كل مملكة أن لا تستعمل في جميع اراضيها الانوع واحدا من الاقيسة

واذا امكن النظر رأيت ايضا انه يلزم ذلك لجميع الناس لاسيما الامة المتحدة نظرا  
لخاطائهم الاهلية

والثانية تساوى ديكامترا

والثالثة تساوى دسمترا

والرابعة تساوى ملترا

فعلى ذلك ليست جميع الاقيسة المستعملة في طرق فرانسسا وسككها  
وفي الاشغال الهينة الانوعا واحدا من ابتداء ملتر بسيط الى الدورة الكاملة  
من الارض كما سبق موضحا في الدرس الثالث من الهندسة الذي تكامنا فيه  
على الدائرة

وبذلك يظهر لك ما يترتب على هذه المطابقات العظيمة من مزيد الاختصار  
في كثير من عمليات الملاحة و الطبوغرافيا اى رسم الارض او الجغرافيا  
الممزوجة بارصاد فلكية

واعظم فوائد طريقة الاقيسة الجديدة هي سهولة جميع عمليات الحساب  
على ممارستها اذ بها يمكن ان يصنع اى طول من الميريامتر او الكيلومتر او من  
الاكتومتر او الديكامتر او المتر على وجه بحيث يضع من الشمال  
الى اليمين جميع تلك الاعداد بعضها عقب بعض كالاتحاد والعشرات والمئات  
من عدد واحد

فعلى ذلك اذا كانت هذه الاسماء الماخوذة من اللغة اليونانية تشوش الذهن  
ويعسر حفظها وتعليقها فانه يمكن عدم الالتفات اليها بالكلية وراحة  
الذهن منها و ترك التلطف بها والاتيان بدلها بعشرات المتر ومئاته وهلم جرا  
لان ذلك لا يغير شيئا من الطريقة السابقة

ثم ان كسور المتر وهى الدسمتر و الستيمتر و الميلتر الخ تكتب كالكسور  
الاعشارية على عين الامتار وتجري عملياتها مع السهولة كعمليات الاعداد  
الصحيحة (الا انه يوضع بينها وبين الصحيحة شرطة فصلها منها مثلا ٤, ٥  
يعنى خمسة امتار واربعة اعشار من متر)

ومن المعلوم ان كثيرا من الناس استعملوا غير مرة الاقيسة القديمة ولم يرالوا

يستعملونها الى الآن مع انهم يعرفون ان تقسيم هذه الطريقة الخاطي عن  
الانتظام يشوش الذهن ويوقع الانسان في الحيرة والسآمة وهو مع ذلك  
عرضة للوقوع في الخطا فان التوازن الذي قدره ستة اقدام والقدم الذي  
قدره اثنا عشر فيراطا والقياس الذي قدره اثنا عشر خطا والخط الذي قدره  
اثنا عشر نقطة يتكون منها تقسيمات ثنوية لا تطابق بالكلية ترتيب اعداد  
الحسابات الاعشارية وهذه التقسيمات الثنوية المعروفة بالاجزاء الضلعية  
تستدعي عمليات صعبة يفزع منها الاطفال لصعوبتها وكانت تستغرق  
في تعليمها عدة سنوات لتكامل مدرسيها بخلافها الآن فانه يمكن تعليمها  
للاطفال من ابتدآء صغرهم في قليل من الزمن بحيث يمكنهم تطبيقها  
على الاقيسة الجديدة

وفوائد هذه الطريقة الجديدة توجد بعينها في انواع الاقيسة التي سنذكرها  
وقد كان يظهر ان هذه الطريقة يجب أن تنشر وتستعمل عند جميع الامم  
او عند الامة الفرنسية خاصة لما انهم اعتبرها كالاتار المالية الان الا وهام  
الفاصلة وما يعرض من الصعوبات الوقتية منعت من ذلك مدة مديدة  
ثم ان المتر اصل لما عدها من اقيسة الطول الاخرى كما سبقت الاشارة اليه  
وهو ايضا اصل لسائر اقيسة السطوح والججوم والاتقال وغير ذلك

\*( بيان اقيسة السطوح ) \*

اعلم ان الوحدة الاصلية لهذه الاقيسة هي المتر المربع  
والآره هو المربع الذي طوله عشرة امتار وعرضه كذلك فهو كتابة عن عشرة  
صفوف مركبة من عشرة امتار مربعة او مائة متر مربع ( كما هو مقرر  
في الدرس الرابع من الهندسة )  
والا كآر هو المربع الذي طوله عشرة آرات وعرضه كذلك فهو عبارة  
عن عشرة صفوف مركبة من عشرة آرات مربعة او مائة آر مربع ويستعمله  
الفرنساوية بدلا عن القدان القديم كما انهم يستعملون الارعوضا عن القصبة  
القديمة

## \* (بيان اقيسة الاتساع) \*

المتر المكعب المسمى بالاسير هو وحدة الجيوم والاتساع  
فالمكعب الذي يبلغ دسمترا واحدا من جميع جهاته اى الذى قدره دس متر مكعب  
هو جزء من الف من المتر المكعب

ولاجل سهولة عمليات التجارة والفنون الميكانيكية صنعوا اواني يبلغ داخلها  
دس مترا مكعبا وسموها لترآ واستعملوها فى قياس المواعع والجوامد من  
حبوب وتراب وغيرهما

واما الاكثولتر فهو وعاء اكبر من اللتر مائة مرة او يحتوى على  
مائة لتر والاكتومتر هو قياس مائة متر  
وبالنظر الى الكميات الصغيرة يتقسم اللتر الى عشرة دسلترات او الى مائة  
سنتلتر او الف مليلتر الخ كما ان المتر يحتوى على عشرة دسمترات او مائة  
سنتيمتر او الف ملليمتر

ثم ان ما يوجد من المشابهة التامة بين هذه التقسيمات الثانوية للاقيسة المتنوعة  
واسماها مقبول وملائم لا يقتضيه العقل وبه يسهل على كل انسان تذكر هذه  
الاسماء بدون لولائها

ولامانع من تسمية الاقيسة الثلاثة التى بينها قريبا بالاقيسة الهندسية حيث  
انها تكفى فى قياس جميع ما تبحث عنه الهندسة المحضة غيرانه يلزم ان يضم اليها  
اقيسة اخرى تحتاجها العلوم والفنون الميكانيكية

## \* (بيان اقيسة الميكانيكا وهى الاتقال) \*

لجميع اجسام الارض ميل الى القرب من مركزه فلولو المانع اقربت منه  
بان تسقط عليه ثمان التقل هو القوة الكلية التى يعيل بها الجسم الساكن الى  
السقوط على وجه الارض

فعلى هذا يكون للجسمين ثقل واحد اذا كانت قوتهم ما التى يميلان بها الى السقوط  
جهة مركز الارض متساوية

ويمكن مماثلة ثقل الاجسام وتقويمه بواسطة الالات التى سياتى بيانها بواسطة  
تلك الالات يعرف هل الجسمين ثقل واحد ام لا

فالغرام هو وحدة القياس الذي ينسب اليه ثقل جميع الاجسام  
والديكغرام هو ١٠ غرامات  
والاكتوغرام هو ١٠٠ غرام  
والكيلوغرام هو ١٠٠٠ غرام  
والمرياغرام هو ١٠٠٠٠ غرام  
وهذه الاسماء من قبيل الكلمات المركبة الاصطلاحية المستعملة في الاقيسة  
العظيمة كالمترو والتر وغيرهما فان كلا منهما مركب  
ويستعمل الكيلوغرام في وزن الاجسام التي يكون ثقلها مماثلا لثقل الاشياء  
التي يمكن استعمالها بسهولة والقنطار المترى هو ١٠٠ كيلوغرام  
وما يعرف عند الملاحين بالننو (اي البرميل) هو ١٠٠٠ كيلوغرام  
واما الغرام وتقسيماته الثانوية فيستعمل في وزن الاشياء الصغيرة كمواد  
الصباغة والكيميا والاجزائه وغير ذلك وينقسم الى عشرة دسغرامات  
ومائة سنتغرام واللف ملغرام  
ولاجل تطبيق صبح الاثقال على اقيسة الابعاد جعلوا مقدار الكيلوغرام  
ثقل دسجتر واحد مكعب او لتر من المياه الصافية الكاملة الى كثافتها العظمى  
بواسطة هبوط درجة حرارتها على وجه لائق  
فعلى ذلك اذا كان لا يوجد في سائر بقاع الارض الا متر واحد او لتر  
واحد او استير واحد او كيلوغرام واحد فانه يمكن ايجاد جميع انواع  
الاقيسة الاخرى مع غاية الضبط والسهولة  
والقياس المستعمل في الفنون الذي لا ينبغي اهماله هو النقود  
فوحدة النقود هي الفرنك وهو يتقسم الى عشرة اجزاء تسمى دسجا والى  
مائة جزء تسمى شنتيما والى الف جزء تسمى ملزيم وكل خمسة فرنكات  
تساوي ريالا فرنساويا يسمى شنكو وكل ثقل اربعين من الشنكو يساوي  
كيلوغراما واحدا وهذا هو الرابطة بين اقيسة النقود والاقيسة الجديدة  
\*) بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود \*

كما ان النقود تستعمله المقادير كذلك تستعمله قياس القوى المستعملة في اشغال الفنون

وقد قال المهندس موتغولفيير الشهير اني لا اعرف من القوى الا القوة المستعملة بالاجرة فقد جعل النقود قياسا للقوة المستعملة في تحصيل اى شئ كان

مثال ذلك رجل له درجة مامن القوة واستعملها في نقل اى ثقل الى مسافة تباع مترا واعطى له في نظير ذلك فرنك واحد وآخر اقوى منه واشتغل قبله زمنا طويلا او كان اسرع منه سيرا نقل ضعف الثقل المتقدم الى تلك المسافة بعينها واعطى له في نظير ذلك فرنك واحدان فهذان الفرنكان يدلان على ان هذه القوة ضعفت للتقدمة فهذا هو كيفية استعمال النقود قياسا للقوة

فاذا فرضنا الا ان ان ثلثا ثقل بواسطة آلة ما كالنقلالة والعربة الصغيرة والجرارة الثقل المتقدم ثلاث مرات بدون ان يصرف من القوة اكثر من التي استعملها الرجل الاول الذي اخذ فرنكا واحدا في نظير نقل هذا الثقل مرة واحدة الى المسافة المذكورة فان هذا الرجل النقال الذي استعمل الآلة ياخذ ثلاثة فرنكات مع احتمال انه استعمل قوة دون التي استعملها الاول الذي اخذ فرنكا واحدا فعلى ذلك لاجل أن تكون النتيجة واحدة ينبغي أن يصرف احدهما قوة تكون اكبر من القوة التي صرفها الآخر ثلاث مرات

وعلى ما ذهب اليه المهندس موتغولفيير يلزم أن تكون اجرة الرجلين المتقدمين واحدة حيث انهما احدهما عين النتيجة المتقدمة وأدنا من القوة مقدارا واحدا وان كان احدهما صرف قوة اكبر من التي صرفها الآخر ثلاث مرات

هذا والذي يجب على الميكانيكي أن يتصدى اليه من المسائل هو تحقيق جميع الحركات والانتقالات واشغال الفنون بحيث اذا اريد تحصيل نتيجة مفروضة لا يستعمل في ذلك من القوة الممكنة الا كمية قليلة فبناء على ذلك يحصل

بواسطة كمية معلومة من القوى البدئية مبلغ عظيم وهو اجرة النتيجة المطلوبة  
فهذه هي المسئلة التي الغرض الاصلى من ميكانيكا الفنون حلها  
ثم ان القوة لا تظهر بمجرد التعادل والتوازن المتحصل بواسطة الانتقال  
التي بها تقاس هذه القوة بل تظهر بالحركات التي يلزم قياس مدتها  
وانما لم اتعرض الآن الى تعريف الزمن والمدة لان تعريفى اياهما لا يتضح به  
ما يتصوره كل انسان

ونستعمل الاجسام التي تقطع مسافات متساوية في ازمنة متساوية قياسا  
للمدة غيرانه ربما استحال وجود مثل هذه الاجسام في الطبيعة ولكن  
قد شاهد الراصدون ان الشمس ترجع بالنسبة لكل من نقط الارض الى  
مستور رأسي عند انتصاف الليل والنهار (والمستوى الرأسي هو المستوى  
الجانبي المتجه من الشمال الى الجنوب) وقسموا هذا الزمن الى اثني عشر جزءا  
وسموا بالساعات وقسموا الساعة الى ستين دقيقة والدقيقة الى ستين ثانية  
وهلم جرا

وهذا القياس كاف بالنسبة لما تدعو اليه الحاجة عادة في الحياة الاهلية  
والامور المنزلية بخلاف ما تدعو اليه حاجة العلوم المضبوطة كعلمي الفلك  
والجغرافيا وكذلك ما تدعو اليه حاجة بعض الفنون كفن الملاحة فانه غير كاف  
اكون ايام السنة ليست مساوية لبعضها

فيجعل الفلكي وحدة قياسه الطول المتوسط من جميع ايام السنة ثم يقسم  
هذه الايام الفلكية تقسيما ثانويا الى ساعات ودقائق وثوان وغير ذلك والزمن  
الذي يعرف بواسطة هذه الاقيسة الاخيرة يسمى بالزمن المتوسط

ولما ظهرت الطريقة الجديدة المتعلقة بالانتقال والاقيسة اختاروا التقسيم  
السنة طريقة مصر واثينا التي هي نزلة من زحل المصريين فقسموا السنة  
الى اثني عشر شهرا والشهر الى ثلاثة اجزاء كل منها عشرة ايام وزادوا في كل سنة  
خمس ايام على ٣٦٠ يوما الحاصلة من ضرب ٣٦ في عشرة وزادوا  
كذلك في كل اربع سنين يوما سادسا مكملا لا ايام السنة الرابعة فتكون السنة



على ذلك ٣٦٦ يوما وهي المسماة بالسنة الكبيسة  
 فكانت هذه الطريقة ارجح مما تقرّر في زيج غرغوار من التقويم المخالف  
 الغريب الناشئ من الاثني عشر شهرا التي منها ماهو ٢٨ يوما ومنها ماهو  
 ٢٩ ومنها ماهو ٣٠ ومنها ماهو ٣١ ومجموعها على ما في الزيج  
 المذكور ٥٢ اسبوعا الا ان جميع النصارى يميلون الى تقسيم  
 السنة بالاسبوع وايام البطالة والشغل المتعاقبة مع ان ذلك مخالف لقانون  
 العبادة حيث انهم كانوا يجعلون رؤس العشرات للدعة والبطالة واشهر  
 المواسم الدينية وعلى ما تقدم ينبغي ابقاء الايام على ما كانت عليه سابقا  
 ولا يلزم استعمال تقسيمها بالعشرات الا في التجارة والحسابات العامة  
 وحينئذ فليس هنالك ما يمنع تلك الطريقة الا موانع قليلة  
 ولم يحفظ من تقسيم اليوم الى عشر ساعات والساعة الى مائة دقيقة والدقيقة  
 الى مائة ثانية الا تقسيم العشرات والاثني عشر شهرا المتساوية  
 وشم موانع كثيرة منعت من شمول هذا الحكم للاجزاء الاخرى بمجموع الانتقال  
 والاقيسة ولاجل جعل الموانع التي تمنع من اختيار هذه الطريقة على منوال  
 الحسابات يلزم أن نبين خطأ المدبرين الذين يحملون الناس على اختيار  
 الطريقة المذكورة بمحض القوة والا كراه فنقول انهم كانوا دائما يخشون  
 أن تذهب من بين ايديهم حكومتهم المضطربة التي لا ثبات لها فبادروا قبل  
 كل شيء باجراء ما ينبغي عمله مع السهولة  
 ومن العمليات الاولية تجديس سبك جميع النقود التي وحدتها الفرنك الطورى  
 القديم واما النقود الجديدة فوحدتها الفرنك الجديد وقد مكثوا اكثر من خمس  
 عشرة سنة في تجديس سبك نقود الفضة ولم يكمل الى الآن واما نقود الذهب  
 فانها لم تبلغ الحد المطلوب الى ذلك الوقت  
 وقد اخطأ مبتدعو طريقة الاقيسة الجديدة خطأ فاحشا حيث ابطوا عموم  
 استعمالها قبل أن يجتدوا عددا كافيا من انواع الاقيسة فكان ذلك سببا  
 في تعذر اجراء هذا القانون بدون واسطة

فبذلك صار التجار الذين ابدأهم الضرورة الى أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة الجديدة مجبورين على أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة القديمة نظراً الى ترغيب المستترين فانهم يريدون ذراعاً من الخوخ مثلاً لامتراً و رطلين من خبز لا كيلو غراماً وزقاً من خمر لا لترًا فهذا ما كانوا يفعلونه غالباً لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة على القديمة و لاجل تحويل بعضها الى بعض

وقد تلاشى بعض هذه المضرات بتداول الازمان وصارت الآن الطريقة الجديدة التي تخص النقود معلومة عند اغلب اهالى مملكة فرنسا ومعومولائها

وصار اهالى مدينتى باريس ونيورئيس يستعملون الآن فى قياس خشب الحريق الاستير دون غيره

واما الكيلوغرام فانه مستعمل عند كافة الثقالين والتجار واما مقدار اللتر فهو معروف معرفة تامة عند الشغالين من جميع الطوائف لكونه قياساً للموائع

ومع ذلك فهناك بعض استثناءات مضرة من اقيسة السعة وهى المكييل يربحى زوالها

ولما تكلمنا على الجهالات والالوهام الفاسدة ناسب أن نبين بعض صعوبات اخرى لاتعلق لها بأراء الناس وانما هى ناشئة من طبيعة الاشياء فيستنبط من ذلك البيان بعض معارف فى الطرق التى يتم بها قبول طريقة الاقيسة الجديدة والعمل بها فتقول

مما يشق على الانسان أن يترك طريقة الاقيسة المستعملة منذ زمن طويل فان ضرر مبادئ الاختراع اكبر من نفعها واهى الصعوبات المذكورة

وهى ان جميع الاشياء المستعملة فى الفنون وعند الناس كالات الكبيرة والصغيرة ومواد التجارة والمنقولات والعمارات تتركب من الاصول التى عدتها التجربة والبراهين والحساب لتعيين الابعاد والاتصال والحجوم حتى ان الحافظة وعت شيئاً فشيئاً الاعداد الدالة على الحجوم والاتصال والابعاد

المتقدمة المنسوبة الى وحدة القياس فاذا كان الصانع لا تقبس معارفه  
من اوار العلوم كان علمه مقصورا على المعرفة المحلية المتعلقة بمقادير كل نوع  
بحيث اذا تغيرت وحدة القياس المعهودة له صارت معرفته العددية مفقودة  
بالكلية واذا اراد اخذ قياس بعد صغير لزم له تحويلات وحسابات وضياح  
زمن وزيادة تعب ولكن الكسل عند هؤلاء الناس بمنزلة المحامي الفصيح  
مع ان الواقع خلافه فان تصوراتنا لا تخرج عن اللغة المستعملة عندنا بل  
اذا تعلمنا لغة اخرى فانه لا يمكن أن نتبع ما يدولنا فيها من التصورات  
المتعاقبة ولا نتخيلها وتقابل بينها زمانا طويلا بدون أن نراجع لغتنا الاصلية  
مع الادراك والتعقل ولا شك ان هذه الموهولة ظهرت بالتجربة لعدة من الناس  
وبالجملة فقله يوجد من ذلك عمليات تتعلق بعقولنا وذلك اننا اذا استعملنا  
وحدة القياس مرارا فانها ترسخ بقوة هذا الاستعمال في اذهاننا بمعنى  
اننا نرى في الفراغ مقدار هذه الوحدة الحقيقي ونعرف كيفية تطبيقه  
على الاشياء التي تصور صورتها فاكساب هذه المعرفة حيثئذ من اعظم  
التقدمات في ممارسة الفنون حيث يصير بها النظر هندسيا ويتعود  
على العمل المضبوط وبذلك يكون في غاية الكمال

ومما هو واقع الآن انك اذا الزمت من يعرف اي نوع من الاقيسة بتغيير  
آحاد قياسه فان كان من الناس المعتادين اي كبقية الرجال الذين لم يخرجوا  
عن العادة ضاعت منه معرفة الامتدادات بحيث اذا اطلع على طول القدم  
ظن انه يساوي طول ثلاثة اقدام وربما زاد عليه قيراطا واعتقد صحة هذه  
الطول ومع ذلك فلا يتصوره كتصور الوحدة ولا يعرف كيفية تطبيقه  
على الاشياء حتى يحولها الى قياسه ولا يستعمل المتر وتقسيماته الثانوية  
الا اذا عرف من اقدام مثلا ما يبلغه البعد الذي يظن انه مناسب لشيء  
من الاشياء ثم يرى ما تساويه هذه اقدام من الامتار ولا يخفى ما في ذلك  
من المشقة والتطويل ولا ريب انه اذا استمر من له قريحة جيدة على هذا العمل  
مدة مديدة فان ذلك يحدث عنه اقيسة جديدة ولكن قلما يوجد من الناس

من يبيع عاجلا بأجل جيد ولو كان قريب الحصول جدا  
وقد اسلفنا آفعا الكيفية المهمة التي يستعملها العقل في عمليات الفنون  
ولما كان الناس عادة يميلون الى الاشياء البسيطة السهلة اجتهدوا في جعل  
جميع الاشياء على نسبة أولية بينها وبين الاقيسة المستعملة وفي التعبير  
بالاعداد الصحيحة عن الابعاد المستعملة عادة في الصناعة ويؤخذ من ذلك  
ان الانسان الذي لم يحسب مدة حياته قوة قطعة صغيرة من الحديد او الخجارة  
او الاخشاب لا يعرف هل مقدار قوتها يساوي ١٢ قيراطا او ١٢  
قيراطا و  $\frac{1}{4}$  او ١٢ قيراطا و  $\frac{1}{2}$  او ١٣ قيراطا فكيف يمكنه  
أن يعرف بمجرد النظر مناسبة اى بعد باقل من  $\frac{1}{4}$  تقريبا وحيث ان هذا  
التحديد المضبوط يفوق ما اعتاده عقله من العمليات لا يمكنه الوصول اليه  
فعلى ذلك ينبغي أن يكون قياس القطعة التي يستعملها قديما محكما لانه اصح  
جميع الاقيسة لكونه ابسطها وينقل هذا القياس غالباً من المعلم الى المتعلم  
وبداول الايام نصير الاشياء كلها متوارثة في عمليات الصناعة والعوايد  
الجارية بين الناس لكن اذا تغيرت طريقة الاقيسة فان الاعداد الصحيحة  
في الطريقة الاولى لا تكون صحيحة في الثانية وبالجملة اذا كان الانسان يريد  
قدما من الطول لاجل قياس قطعة معه وكان قد رأى ان اباه او معلمه فرض  
لقياسها قديما فكيف يطلب منه انه يفرض لها قياسا آخر غير متر واحد منقسم  
الى ثلاثة آحاد زائد احدى عشر من مائة واربعة واربعين من القدم ومائتين  
وسنة وتسعين من الف من مائة واربعة واربعين مئة اى من القدم المذكور  
وبناء على ذلك اذا قال له بعض العارفين بالابعاد الحقيقية للقطعة المطلوب  
قياسها مثلاً لا يصح أن يكون القياس المفروض لهذه القطعة اثني عشر قيراطا  
محمولة الى امتار بل بحسب ما ظهر لى من العمليات المكتسبة من النظريات  
يكون ثلاثة دسمترات او ثلاثة دسمترات ونصف او نحو ذلك يظن ان قواعد قنه  
تغيرت بالكلية  
ومن المؤلفين الذين ذكروا في كتبهم الاقيسة الجديدة عن بين مقادير الاشياء

بهذه الاقيسة واذاف اليها نفس تلك المقادير بالاقيسة القديمة وحيث ان هذه الاقيسة القديمة مستعملة كثيرا عند معظم القرائن من ذلك ان المتولعين بمطالعة تلك الكتب الذين يقتصرون على ما يكون من الاشياء قليل التعب لا يميلون الا الى الاقيسة القديمة دون غيرها

ويظهر لتاسيب آخـرجـدير بالذكر هنا وحاصله انه حيث لم يكن ادراك الحاقطة الاجتزاد تخيل لزم ضبط المقادير المذكورة في اللغة المستعملة عندنا بكثرة ولجلهـل هذا السبب رأينا كثيرا من الناس من يعتقدان ضبط الاقيسة الجديدة اصعب من ضبط المقادير المتساوية المبينة بالعنوان القديم بل اتفقت كلمتهم على تأييد هذا التخيل وكما كانت المقادير مبينة باعداد بسيطة او صحيحة من الاقيسة القديمة نشأ من الاقيسة الجديدة التي تكاد تكون صماء مع الاقيسة الاخرى القديمة اعداد صعبة وربما كانت المتعاقبة التي يلجأ اليها القاري بين هذه المقادير المتقاربة من بعضها معضدة لاتفق الطريقتين

ومن المؤلفين من اقتصر في تأليفه على الاقيسة الجديدة دون غيرها الا انهم لم يرالوا في الغالب يقتصرون بـلفـهم من المؤلفين في كـونهم يعملون جميع العمليات الاصلية على مقتضى الاقيسة القديمة فنشأ عن ذلك انهم عوضا عن أن يحصل معهم من الاقيسة الجديدة اعداد صحيحة لم يحصل معهم الا كسور وصلوها الى درجات تقريبية لاجدوى لها لكونهم تجاوزوا حد الصحة في كل من انواع العمليات

فعلى ذلك كان يلزم في جميع الفنون عند اختراع الاقيسة الجديدة عمل جداول جديدة تكون صحيحة الاعداد على مقتضى الاقيسة المذكورة لانه يحدث عنها المعلومات والحوصل الضرورية التي تكون المعلومات فيها نتائج لازمة فاذا تكون منافع اختبار الطريقة الجديدة كثيرة ومضارده قليلة يمكن ازالتهـا في قليل من الزمن

وينبغي أن نشرح هذه التصورات شرحا موجزا فنقول

اذا كان هنالك مثله متبعة في صناعة من الصناعات لزم ان الفنون التي

تتركب هي منها تكون مرتبطة ببعضها ارتباطا كلياً وقل من هذه الفنون ما لا يستمد من غيره آلات ومواد أولية بل منها ما الغرض الأصلي منه كفاية هذه الحاجة وتلك الفنون هي التي ينبغي اعتبارها ومراعاتها دون غيرها والتي يجب ادخال طريقة الاقيسة الجديدة فيها بجميع ما يمكن من الوسائط مع تحويل سائر المقادير وسائر ابعاد محصولاتها الى اعداد صحيحة بالنسبة الى تلك الاقيسة فعلى ذلك كان يلزم اما أن تكسر انواع الصب والمساحب والقوالب او تنتظرها حتى تنكسر بنفسها ونعملها ثانياً على موجب طريقة الاقيسة الجديدة ثم يلزم ان الصنائع لا يعملونها الا اذا وفوا بجميع الشروط اللازمة وقد يكون ذلك في الاقنسة مثلاً بأن يفرض لها متر واحد او ٥ او ٦ او ٧ دسمترات من العرض وبالجمله فكان على من ادخل طريقة الاقيسة الجديدة في الفنون أن يمارس اد في تفاصيل تلك الفنون ويعانيها مع النودة والتأني ولا شك ان ذلك فيه من المشقة ما لا مزيد عليه ومنفعته تفوق روثقه لكن يكفي من تصدى اليه من المؤلفين النجاح فيه وبلوغ المرام وتحصيل الشرف التام

ولنشرع الآن في ذكر امثله صحيحة توضح ما سبق من الامور العامة فنقول اذا كانت الاقيسة الجديدة مخنارة في بعض الجهات فان ذلك انما يكون حقيقياً في اشغال المصالح العامة لان المنوط بهار جال لهم اليد الطولى في المعارف وحيث ان هؤلاء الرجال بالنظر لصنائعهم لهم ارتباط بالحكومة التي يأخذون منها ادوات الهندسة كانوا بالضرورة هم الذين يخترعون وينشرون رسوم تلك الحكومة المتعلقة بالفنون ولنبحث فيما نحن بصدده عن الدرجة التي وصلوا اليها في تلك الرسوم فنقول

لما كان مهندسوا الجهادية والقناطر والجسور مجبورين بطبيعة اشغالهم وخدمهم على عمل جملة عظيمة من الحسابات وتحقيقها استحسنوا أن يتركوا من الطرق ما تكون به الحسابات صعبة وغير منتظمة ليبادروا بالاصطلاح على طريقة اخرى سهلة منتظمة كطريقة الاقيسة الاعشارية فجددوا

جدول مقادير اشغالهم بالاقيسة الجديدة ولم يعرفوا غيرها  
وقد تقدمت الهندسة البحرية في هذا المعنى تقدماً بطياً بالكلية فانه ظهر  
مع المشقة بعد اربع سنين جدول ابغاد الاخشاب بالاقيسة الجديدة  
ومع ما يوجد في هذه العملية الاولى من العيوب التي لاتعد ولا تحصى  
كنتطوير العمل جدا في تكعيب كمية عظيمة من الاخشاب اللازمة  
لعمارة السفن اذا اقتضى الحال تكعيبها بموجب الاقدام والقراريط ونحو ذلك  
بخلاف التكعيبات المترية لظهور سهولتها فالأخشاب الواردة لاتقاس  
الا بالاقيسة الجديدة في ميناء الدولة لكن يلزم لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة  
على فن عمارة السفن بذل الهمة والشغل الجسيم ويلزم ايضا عمل قوائم  
تتضمن مصاريف السفن والفرايط وسائر انواع السفن باعداد صحيحة  
مع بيان الابعاد المحولة لكل قطعة من اجزاء السفينة على وجه التفصيل  
وبالجملة فيلزم نشر هذا الشغل الجسيم في جميع القنون البحرية وهي التي  
تكون محصولاتها عند المهندس اصلا لاشغاله كالصواري والحبال والبكر  
والشراعات وغير ذلك وحيث انهم لم يجروا هذه العمليات الاولى اصلا  
ترتب على ذلك انهم استعملوا المتر في الميناء الفرنسية زمنا طويلا ثم قسموه  
تقسيمًا ثانويا الى اقدام وصار العمل على تلك الاقدام وهذه الاقيسة ذات  
الوجهين هي عين ما في الكتب المتقدمة قريبا التي ذكرت فيها الاقيسة مثني  
على وجه بحيث لا يراجع فيها الا الاقيسة القديمة

ولكن لما صارت السفن والقبائل تحت ادارة الملتزم كليمونت تونير  
وكان من اقدم تلامذة مدرسة المهندس خزانة الفرنسية حصل في ذلك تغيير  
عظيم وذلك انه صدر عنه امر بان من الآن فصاعدا لا ينبغي أن تستعمل  
الاقيسة القديمة في ميناء فرنسا ولا ترمتانها ولا في القبائل وحكم  
بابطال الاقيسة التي تدل من جهة على تقسيمات الاقيسة القديمة ومن اخرى  
على تقسيمات الاقيسة الجديدة فانظر الى هذه المنافع البطيئة المحققة الناشئة  
عن المدارس العظيمة التي يكتسب منها الشبان معارف منسعة متينة لكونها

تؤثر فيهم تأثيرا يزداد على ممر السنين حتى يكون فيهم استعداد للحكم بعد تقيم  
دروسهم بهذه المثابة ويحصل بهم قمع لم يكن يعرف قبل ذلك  
ومن المصالح العامة ما يكون فيه تأثير الموانع الآتية أقوى من تأثيرها  
في غيره وذلك ان الاصل الذي يعلقبه ماعداء من الاصول في فن الطوبجية  
هو ثقل الكلة او عيارها واما اقيسة المدافع وجنساناتها وذخيرتها وعرباتها  
فذلك كله نتيجة ضرورية من ذلك الاصل غير ان اتقال الكلال المدينة باعداد  
صححة بالنسبة للاقيسة القديمة لا تكون باقية على حالها بالنسبة للاقيسة  
الجديدة وعليه فما تسمى مثلا المدافع التي عيارها ٢٤ رطلا من الرصاص  
فلا يصح أن يقال لها مدافع من التي عيارها ١٢ كيلو غراما لان ذلك  
من قبيل الخطأ فان ١٢ كيلو غراما اكبر من ٢٤ رطلا ولا يصح ايضا  
أن تسمى بالمدافع التي عيارها ١١ كيلو غراما لان ذلك من قبيل الخطأ  
ايضا فان ١١ كيلو غراما اصغر من ٢٤ رطلا فافا سميت بمدافع  
عيارها ١١ او ١٢ كيلو غراما كانت هذه التسمية فاسدة وعليه  
فتكون تسمية ذخيرتها وجميع معلوماتها المربة بموجب اتقال الكلة  
فاسدة ايضا وهذه المشكلات محققة لا خفاء فيها ذمن المعلوم ان صناعة  
المدافع والكلل مع الاتقان والسرعة لا تنع من زيادة نقل الكلل فربما تجاوز  
هذا الثقل عدد الارطال المبين لعيارها وبذلك يقرب العدد المذكور المبين  
لعيار الابوس والمدافع من نصف الكيلوغرامات  
ولما ظهرت طريقة الاقيسة الجديدة لم يظهر في فن الطوبجية من الاحوال  
ما يحصل فيه قابلية لأن يحدث فيه تغير عام فاذا اخذت الطريقة العسكرية  
الفرجية في اتساع جديد ولزم لها انشاء معامل ومسابك لم تكن موجودة  
في الاقيسة القديمة التي صفات آلتها اذ ذالك غير معروفة في المصالح  
لاتساع الاتقال وتقدمها على وجه لم يكن قبل ذلك فلم لاتضع معامل  
جديدة بموجب معايير ٤ انصاف كيلو غرامات او ٦ او ٨ الخ  
عوضا عن أن تصنع بموجب معايير ٤ ارطال او ٦ او ٨ الخ فان



صنعها بموجب المعايير الاولى يترتب عليه في اسرع وقت كثرة عدد المدافع الجديدة حتى لا تمكن المضاهاة بينها وبين المدافع القديمة ويحصل من الاعناء بهذا الامر ابطال الاقيسة القديمة وخروجها عن الخدمة العسكرية بالكلية وبذلك يحصل تغير عظيم في الاقيسة بدون أن ينشأ عنه تلف ولا بذل جهد فاذا كان يخشى من كثرة المعايير الوقية التي هي نتيجة هذا الابتداء فلا شك انه يمكن أن تجعل اسلحة بعض الحصون وبعض الجيوش من المدافع القديمة واسلحة الاخر من الجديدة لان هذه التغيرات تستدعي ضرورة نقل بعض المدافع غير انه عند نقل المدافع القديمة من الحصون المأمونة الى الحصون المخوفة او الايات العساكر المتهمة وكذلك عند نقل مدافع المعامل الجديدة الى الخواصل والجنخانات والحصون التي تكون قليلة الخطر ونقل المعايير القديمة البحرية دائما الى السفن والمحافظة بالجديدة على السواحل ثم على ججساتها المبنات العظيمة يحدث من التأثير الطبيعي للحرب تغير لا يعد غريبا الا عند ذوى العقول القاصرة

فان قيل هل هذا التغير ممكن الآن قلنا نعم لاما نعلم منه فان هذه الوسائط بعينها وصل على عمر الزمان الى نتائج واحدة وبكفي في ذلك تغير قطر آلة قنب المدافع تغيرا لا تقا وماتى بتغير نفسه

وبالجمله فلا مانع من ادخال اقيسة الامتداد الجديدة في فن الطوبجية سواء حصل تغير او لم يحصل ولا ارتباط لهذه الاقيسة بصنع الانتقال وليست معايير المدافع التي قدرها ٤ وارطال او ٦ او ٨ الخ مبنية باعداد صحيحة من القرار يط كما انها لم تبن بالستمر وكذلك بعض مقاييس اخرى وربما كانت هذه العملية عظيمة اذا كان احد ضباط هذه الاسلحة الشهيرة يقوم الاقيسة القديمة الثابتة بالممارسة للميكانيكي والمهندس في يحولها الى الاقيسة الجديدة باعداد بسيطة فان ذلك لا يخلو عن فائدة ولا شك ان هذه التقدّمات هي نتيجة هذا المشروع النفيس وتداول الزمان والفوائد الطبيعية التي تحدث عن هذا الشغل تجبر جميع الجيوش على اختيار الاقيسة المذكورة ولا بد انه في ابعاد

يترتب على صحة المعايير تقدم في اشغال فن الطوبجية  
فاذا استعملت الاقيسة الجديدة في المصالح العامة وصارت مقبولة فيها كان لها  
بذلك دخل في بقية الاشغال العامة وجميع الفنون المدنية المرتبطة بها ارتباطا  
ضروريا وهي مجموع الفنون الرياضية تقريبا وقد كانت مستعملة قبل ذلك  
في فنون الكيمياء مع الفائدة التامة فان معظم من مارسوا اشغال هذه الفنون  
المتنوعة كانوا ينشرون ما اكتسبوه من المعارف شيئا فشيئا ويتداول الايام  
نزول الموانع الاخرى

ولما فرغنا من الكلام على ما يترتب على التغير الحاصل في مقدار الاقيسة  
من الصعوبات وجب الآن أن نشرع في ذكر صعوبات تغيير العنوان  
ولئذ كررها في مبادئ هذا الدرس فنقول

### \*(الدرس الثاني)\*

في بيان ما بقى من الاقيسة وفي قوانين التحول الاولى وتطبيقها  
على الآلات

قد تقدم ما يقضى بصحة الادلة التي بها اختيرت العناوين المستنبطة من اللغات  
القديمة وقد كانت هذه الادلة في غاية الدقة والعموض بحيث لم يدركها جم غفير  
من الناس حتى قالوا فيما بينهم لم اختاروا هذه الاسماء التي لا يعلم تأويلها  
الا اله ابدا الراسخون في العلم لم يفهم ما يحدث عن كل تغيير يحصل في مقدار  
الاقيسة من المشكلات القوية مع قطع النظر عما يتولد عن العناوين الجديدة  
من الموانع وهل مثل هذه الاصطلاحات لكافة الناس بل لمانع انه كلما سلك  
الانسان في التعبير عن المكرر وقاسمه بالفاظ مركبة من كلمتين دالتين على نوع  
الوحدة واختصارها طريق الدقة والعموض كانت هذه الالفاظ الغير الجلية  
اسرع الى النسيان وعدم الرخوخ في الذهن فيختلط عليه دائما هذه الالفاظ  
الكثيرة المنتهية بكلمة واحدة نحو مليمتر و سنتيمتر و دسمتر ولكن من ذا الذي  
يرى ان مثل هذه الاعتراضات الواهية تظهر على الحقيقة والصواب في الولايات  
التي ينبغي لها المباهاة والتفاخر بوضع قواعد الاقيسة المستحسن العظيمة

واذا لم يبدل الجهد في تأييد ما ذهبنا اليه في شأن الاقيسة حتى تكون مقبولة عند جميع الملل فهل ما عدانا من الملل يؤيد هذا المذهب الذي لا يذهب اليه هذا ولا مانع أن نضيف الى تلك الادلة التي لا يبرمجها الاقليل من ارباب العقول هذه الادلة وهي انك اذا لم تغير اسم الاقيسة التي تركتها فكيف تميز المقادير المينة أولا بالاقيسة القديمة ثم بالاقيسة الجديدة وهل يحصل ذلك الا بواسطة كتابة اقيسة قديمة واقيسة جديدة دائماً ولكن الكسل بعث الناس على الاقتصاد على انصاف الاسماء الواجزة الدالة على الاقيسة فانك ترى بعض تجار الفرنج اجتناباً بحمل المشقة في النطق بجميع حروف كيلوغرام مثلاً يقتصرون على صدرها فيقولون كيلو فعلى ذلك لو سلكوا هذا المسلك في الكيلوتر والكيلومتر لقالوا فيها ايضاً كيلو وبذلك لا يعرفون ما ارادوه بهذه الكلمة واما نحن معاشر الرياضيين فكلنا مناهة لا لبس فيه بحيث لا يعوقنا عن المرام مثل هذا الالتباس الهين فيكتفي حينئذ باطلاق اسم القدم على القدم القديم او ثلث المتر تقريباً ومن هنا يقع خلفنا فيما اوقعنا فيه اقيسة سلفنا غالباً من الحيرة وعدم الوقوف على الحقيقة \* مثال ذلك استعمالهم لفظة غلوة التي هي على اربعة انواع بدون أن يميزوا المراد من تلك الانواع فاننا لا ندري بايها قدرت المسافات التي نراها في كتبهم \* فهذا هو الغرض الذي نصدينا اليه وفاء بما يجب علينا لخلقنا وكيف يصح ان الاسماء المصطلح عليها في علم من العلوم يعسر حفظها وثباتها في الذهن اذا كانت مركبة من خمس عشرة كلمة فصاعداً وليس اتانود المبالغة في صعوبة مثل ذلك حتى نتخربانه من قبيل المعجز الذي لا يارى ولا يغلب وهل ينكر ان تقدم العلوم منذ قرن كان سبباً في استعمال كثير من الاصطلاحات الماخوذة من اللغة اليونانية وادخالها في العرف الخاص والعام فمن ذا الذي لا يعرف البارومتر والترمومتر وكيف يسهل حفظ هذين الاسمين دون الكيلومتر مثلاً

وهل ثم من العبيدان من لا يحفظ عدة اسماء صعبة مثل كسموراما وديورا، وبانوراما وحيوراما وفتسماغوري ويعرفها بملولاتها حق المعرفة

فأوجه صعوبتها دون متر ودسخر ونحوهما إلا أنها لاتدل إلا على الصور والظلال القابلة للتغير القريبة الزوال من الذهن بخلاف المتر وفروعه فأنها تدل دائما على الأطوال المادية التي يمكن تناولها باليد ومساها ورسوخها بمجرد الوقوف عليها بحيث لا يعتريها بعد ذلك تغير ولا زوال ولنعترف الآن أننا بدرئنا ما كنا واعتنا بما لا يجدي فضلا من أمور اللهو واللعب تسكسل عن الالتفات إلى ما لابد منه في حاجتنا الضرورية

ولاحاجة إلى البحث عن أسماء مهملة اجنبية من الفن فهي سهلة الحفظ حيث يوجد إلى الآن الفاظ كثيرة مصطلح عليها في الكيمياء عند جميع الفرج فان بعض من لا يعول عليهم من أرباب العقاقير والجراحين الذين في الأرياف لم يزلوا إلى الآن يعرفون أصول هذه الألفاظ ومع ذلك فلواهمل الكيمائيون من الفرنسيين واللفاظ العلمية النفيسة ليسهل تناولها على أرباب العقاقير ومن يدعى معرفة الجراحة من جراحى الأرياف وكذلك لوسلك هذا المسلك أهل النمسا وإيطاليا والإنكليز واصطلحوا على الفاظ توافق لغاتهم لتتنوع الاصطلاحات العلمية التي من شأنها الوحدة إلى أنواع عديدة ملتبسة ببعضها لکنهم شرعوا في مشروعات محدودة حيث اضلحوا وحرروا ما لا يحصى من الألفاظ الاصطلاحية في ظرف عشر سنوات صارت هذه الألفاظ مقبولة مستعملة عند سائر الأمم التي تمارس العلوم الطبيعية وما يجب التنبيه عليه زيادة على ذلك ان هؤلاء العلماء المشهورين من ساعد الحد والاجتهاد أخذوا في تجديد علومهم كلها بدون التفات إلى ما ينبتهم عن ذلك وعليه فيلزم تجديد علم الأقيسة بسائر أنواعه وفروعه وهذا هو الغرض من كلا منا سابقا ولاحقا

وكان الكيمائيين لما اعتنوا ثانيا بجميع الحوادث ليجددوا مع الضبط نسب القواعد الناشئة عنها تلك الحوادث كان ذلك وسيلة إلى امتكشافات كثيرة جدا كذلك إذا صنع الإنسان جداول مضبوطة تحتوي على سائر أنواع المقادير التي تكون عبارة عن معلومات الفنون كان ذلك أيضا واسطة

في وصول العلم الى درجات الكمال وتطبيق العمليات على قواعد حساسية لم يكن جرى فيها ذلك من قبل فتكون هذه الاشغال منشأ للتقدمات المستقبلية

**\* ( بيان قوانين التحرك الأولية ) \***

يظهر من رصد الاجسام المتحركة على الارض ومن مجموع الكواكب السيارة عدة قواعد اصلية ينبغي ذكرها هنا ليتفرع عليها البيان الآتي فنقول (اولا) اذا لم يعرض للجسم الساكن شيء يحركه فانه يستمر على سكونه لانه في هذه الحالة لا مقتضى لحركته في جهة ما فعلى ذلك اذا اتصف الجسم بالحركة بعد السكون فلا بد أن يكون قد عرض له سبب اوجب تحركه الى احدى الجهات وهذا العارض هو المسمى بالقوة والغرض الاصلى من علم الميكانيكا هو معرفة كيفية تأثير القوى في الاجسام المنفردة او المرتبطة ببعضها بالنظر لاوراعها وصورها .

(ثانيا) اذا اخذ جسم في التحرك في اتجاه ما بسرعة ما فاذا لم يكن هناك ما يمنع تحركه استمر على الحركة في هذا الاتجاه مع السرعة المذكورة بمعنى انه يقطع مسافات متساوية في ازمة متساوية وهذا ما يسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق

ومتى غير هذا الجسم اتجاهه او سرعته فان التجربة تدل على ان هذا التغير حاصل من تأثير موافق او مخالف واقع من قوة جديدة

وكذلك اذا كان الجسم الجامد العادم للحركة غير قابل للتحرك فانه يعلم من ذلك انه لا يقبل الحركة بحال فعلى ذلك اذا كان الجسم الجامد متحركا فانه يستمر على حركته بمعنى انه يقطع في اتجاه واحد مسافات متساوية في زمن واحد \* والسرعة هي النسبة التي بين المسافة المقطوعة والزمن

مثلا اذا جعلت الدقيقة واحدة للزمن والمتر وحدة للطول يقال ان الجسم الذي يقطع مترا في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ١ والجسم الذي يقطع مترين في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٢ والجسم الذي يقطع ثلاثة امتار في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٣ وهكذا

وقد دلت التجربة ايضا على دعوى اخرى شهيرة جدا وهي انه يحدث عن قوتين واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد (كفرسين مربوطين في قطار واحد لجتر عربة مثلا) عين التأثير الحادث من قوة واحدة مساوية لمجموع هاتين القوتين واقعة على الجسم المذكور في اتجاه واحد ايضا وهذه القوة هي التي يطلق عليها اسم المحصلة لانها متحصلة من قوتين اخرين يسميان بالركبتين اولانه يتحصل منها عين النتيجة المتحصلة من هاتين المركبتين واما في صورة العكس وهي ما اذا كان قوتان واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد لـكن في جهتين متضادتين فان الجسم يتحرك كما لو كان مندفعاً بقوة واحدة محصلة مساوية لفاضل القوتين المركبتين ومتجهة الى جهة كبراهما

وعلى ذلك يشاهدان العربجية عند الهبوط بالمرعة يحملون الفرس من أمام العربية ويربطونه خلفها لجبرها القهقري وفي هذه الصورة لا تكون القوة المحركة الا كقوة فرس آخر يجبرها الى الامام ناقصة قوة الفرس الذي يجبرها الى خلف عوضا عن أن تكون هذه القوة اعنى المحركة قوة فرسين

### \* (بيان التوازن) \*

اذا كانت القوة الجاذبة الى جهة الخلف مساوية للقوة الجاذبة الى جهة الامام فان فاضلهما يكون صفرا ولا يتحرك الجسم الى جهة احدهما ولا الى جهة الاخرى ومن ذلك يحدث ما يسمى بالتوازن اعنى بالسكون القهري وهي حالة مخالفة للسكون الطبيعي الذي يكون باقيا على حالة واحدة ما لم يؤثر في الجسم قوة تجبره على التحرك

فاذا كانت محصلة عدة قوى يضادها قوة جديدة مساوية لها ومتجهة الى جهة مضادة لجهتها فانه يحدث من ذلك توازن وهذه قاعدة شهيرة جيدة تسوغ ضم المسائل التي يكون الغرض منها البحث عن النتائج التي يحدث بها التحرك الى مسائل التوازن

وعوضا عن اعتبار قوتين مؤثرتين دون غيرهما في اتجاه واحد يمكن

اعتبار ٣ او ٤ او ٥ الخ او عدد ما من القوى وحينئذ يلزم لاجل  
تحصيل المحصلة امران احدهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع  
الى جهة الامام ثانيهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع الى جهة  
الخلف وبذلك يتحرك الجسم في جهة المجموع الاكبر كما يكون مدفوعا  
او يجذوبا بقوة واحدة مساوية لفاضل هذين المجموعين

(ولنفرض مثلا عربة حل مجرورة بثمانية افراس في قطار واحد فتى كانت جميع  
هذه الافراس مربوطة كلها اجهة الامام فان العربة تكون مجرورة بقوة فرس  
واحد مساوية لقوة الافراس الثمانية ثم اذا حل العربي ثلاثة من هذه  
الافراس مثلا وربطها خلف العربة لتجربها القهقري فان التحرك الكلي  
يكون اولاً عينا ما اذا كان هناك فرس واحد مربوط في جهة الامام قوته  
مساوية لقوة الافراس الخمسة وفرس آخر مربوط في جهة الخلف قوته  
مساوية لقوة الافراس الثلاثة المذكورة وثانياً يكون مساويا ايضا  
للتحرك الحادث من فرس واحد قوته مساوية لفاضل الافراس الخمسة  
المربوطة في جهة الامام والثلاثة المربوطة في جهة الخلف وهذا التحرك  
بالضرورة يكون واقعا في جهة خمسة الافراس اذا كانت قوتها متساوية)

ومما ينبغي حفظه والاهتمام به قاعدة ثالثة وهي اذا لزم قوة ما لتحرك جسم  
بسرعة ما اعنى لنقله الى مسافة معلومة في زمن معلوم فنصف هذه القوة  
لا يتقل الجسم المذكور في هذا الزمن الا الى نصف المسافة المذكورة  
وثلاثها لا يتقله الا الى ثلثها وبهذا لا يتقله الا الى ربعها وهكذا دائما مع تناسب  
واحد .

وكذلك في صورة العكس وهي ما اذا كانت مدة الزمن ثابتة بالفرض فان  
ضعف القوة يتقل الجسم المتقدم الى ضعف المسافة المتقدمة وثلاثة امثال  
هذه القوة تنقله الى ثلاثة امثال المسافة واربعة امثالها تنقله الى اربعة امثالها  
وهلم جراً

فاذا بقيت القوة ثابتة وتغير مجسم الجسم نشأ عن ذلك ما سنذكره

وهو انه في مدة هذا الزمن تنقل القوة الثابتة ضعف الجسم الى نصف المسافة وتنقل ثلاثة امثال الجسم الى ثلث المسافة واربعة امثال الجسم الى ربعها وهكذا وكذلك تنقل القوة الثابتة نصف الجسم الى ضعف المسافة وثلاثة الى ثلاثة امثالها وربعة الى اربعة امثالها في نسبة واحدة دائما

ويؤخذ من ذلك ان المجسمات الكبيرة اصعب في التحرك من المجسمات الصغيرة وهذه المقاومة مناسبة للجسم تناسباً مضبوطاً بحيث تكون المقاومة مع القوة المستعملة في تحركه لاجل واحد مناسبة للجسم دائماً  
وحينئذ يوجد في المادة تضاد بين التحرك والسرعة وهو مناسب للجسم وهذا التضاد الذي ينبغي ابطاله هو المسمى بالانرسى (اي الحالة الذاتية للجسم)

ويكون الانرسى المذكور في غاية الظهور عند مقابلة المجهودات التي تبذل في تحريك الاجسام الكبيرة والصغيرة ببعضها وذلك ان الطفل الصغير مثلاً يحذف بعيداً عنه بعداً كافياً حصوة صغيرة وجبات من الرمل بخلاف الرجال الاقوياء فانه يمكنهم عند جمع قواهم في زمن واحد أن يحركوا بقراط واحد جلاً ثقيلًا او قطعة من الرخام مثلاً  
ولننبه هنا على الكيفية القطعية التي بها يمكن ان يحصل من القوة نتيجة واحدة بطرق مختلفة فنقول

يمكن قطع الجسم المطلوب نقله الى اجزاء متساوية كاثنتين او ٣ او ٤ الخ ثم توقع القوة بتمامها على كل من هذه الاجزاء فاذا قطع الى جزئين متساويين مثلاً فان كلا منهما ينقل بسرعة مضعفة فاذن يكون الجزآن المذكوران منقولين في زمن واحد كلياً فاذا قطع الى ثلاثة اجزاء متساوية فان كل ثلث ينقل بثلاثة امثال السرعة فاذن تكون الالاث الثلاثة منقولاً في نفس الزمن الكلي وهكذا

فاذا فرض حينئذ ان هنالك عشرين جلاً متساوية في الجسم ولزم نقل كل منها



الى مسافة معلومة بواسطة ٢٠ قوة متساوية فاذا وصلت هذه الاجال  
بعضها مئتي وتقلت بقوى متصلة ببعضها مئتي ايضا فانه يحدث للنقل ١٠  
طرق عوضا عن ٢٠ الا ان العشرين جسما تكون منقولة دائما الى مسافة  
واحدة في زمن واحد وقد يحصل مثل ذلك ايضا اذا وصلت الاجال ببعضها  
ثلاث اى ثلاثة ثلاثة اورباع اى اربعة اربعة وتقلت بالقوى المتصلة ببعضها  
ثلاث اورباع ايضا

فلذلك كان على حد سواء (بالنظر الى التقويم الميكانيكى) نقل الثقل الكلى  
المذكور في عربات بفرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ بشرط أن تكون  
اجالها تحمل فرس او ٢ او ٣ او ٤ الخ ويكون الثقل الكلى  
منقولاً دائماً بواسطة العربات الى مسافة واحدة في زمن واحد وهذا هو  
سبب كون النقّالين يدفعون اجرة معينة بالكيلوغرام في نظير النقل سواء كان  
الحمل بزن قليلا او كثيرا من الكيلوغرام لان القوة الكلية التى يلزم استعمالها  
فى النقل مناسبة للثقل الكلى من الاشياء المنقولة وبالجملة فهذا هو السبب  
فى ان النقّالين كانوا يدفعون للعربية اجرة واحدة على حسب تقويم  
الكيلوغرام سواء كان العربية يستعملون فى ذلك عربات بفرس واحد  
او ٢ او ٣ او ٤ الخ لان الثقل الكلى المنقول بكل عربة مناسب  
للقوة الكلية للخيول المربوطة فى العربة

ولاجل تحصيل تصرف القوى التى يستلزمها الجسم المنقول الى مسافة  
معلومة يلزم تقويم هذا التصرف أولا بموجب ثقل الجسم المذكور وثانيا  
بموجب السرعة المعتدة لقطع المسافة المذكورة فيكون حاصل هذا التقويم  
دالا على كمية التحرك

وقد يتقوم الثقل بالكيلوغرامات والزمن بالساعات فاذا كان كيلوغرام  
واحد يقطع المسافة الماخوذة وحدة فى ساعة واحدة كانت كمية التحرك = ١  
واذا كان ١٠ كيلوغرامات او ١٠٠ او ١٠٠٠ تقطع وحدة  
المسافة فى ساعة واحدة فانما تؤدى كمية التحرك المهيئة مرة واحدة

باعداد ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ  
 واذا كان كيلوغرام ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ تقطع  
 المسافة مرتين في ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك الميئة مرتين باعداد  
 ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ من الكيلوغرام  
 وانما اكثر هن من ذكر الامثلة لما انها توضح ايضا احاديا التعريفات  
 التي ينبغي تسهيلها بدر الامكان

ولنتكلم قبل التوغل فيما نحن بصدده على قوانين السكون والتحرك التي سبق  
 تعريفها قريبا ونذكرها على وجه اجمال فنقول  
 كل جسم ساكن يبقى على حاله ما لم تجبره على التحرك قوة واحدة او قوى  
 متعددة

وكل جسم متحرك يبقى على حاله ما لم تعرض له قوة تمنعه من الحركة  
 وكل جسم متحرك تابع لمستقيم واحد يقطع مسافات متساوية في ازمته  
 متساوية ما لم تعرض له قوة اجنبية تغير ثبات تحركه وانتظامه وهذا التحرك  
 هو المسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق  
 والسرعة هي النسبة الحاصلة بين المسافة المقطوعة على وجه الانتظام  
 وزمن قطعها

فاذا كان زمن قطع المسافة ثابتا فالسرعة المضيئة مثنى وثلاث ورباع تكون  
 كالسافة وقد تكون ايضا على النصف او الثلث او الربع ونحو ذلك بحسب  
 تقسيم هذا الزمن وبالجملة فهي مناسبة دائما للمسافة تناسباً مطرداً  
 واذا كانت المسافة المقطوعة ثابتة فكلما كان زمن قطعها كبيرا كانت  
 السرعة صغيرة وحينئذ تكون نسبتها من عكسة انعكاسا كلياً بمعنى انه اذا كان  
 الزمن مضاعفاً مثنى وثلاث ورباع كانت السرعة على النصف من ذلك او الثلث  
 او الربع وهكذا

واذا كانت السرعة ثابتة فالمسافة المقطوعة تكون مناسبة الزمن تناسباً  
 مطرداً بمعنى انها تزيد وتقص بنسبة واحدة

وفي التحرك المنتظم تكون القوة مناسبة لجسم مضروباً في السرعة  
 وإذا تحركت الاجسام بدون مقاومة فمن حيث كونها متحركة في فراغ عظيم  
 تكون باقولة دفعة مستمرة على تحركها بسرعة واحدة في اتجاه واحد  
 ولكن يعرض على الارض في كل وقت كثير من الموانع والاحتكاكات  
 والمقاومات فتتبع دوام تحرك تلك الاجسام  
 فاذا تحرك الجسم تحركاً تاماً نجد ان هذا التحرك يتقص بالتدريج ويؤول  
 امره الى الانعدام

مثلاً اذا لعب انا بالكرة فلولا احتكاك الارض ومقاومة الهواء لكانت  
 هذه الكرة بمجرد طرحها على مستوى متدريج بدون أن تنقص سرعتها  
 لكن لا يخفى أن هذه السرعة تنقص على المستويات المصقولة وان بلغت  
 في الصقالة ما بلغت وتندم في اسرع وقت

وعليه فيلزم لاجل استمرار التحرك بالنسبة للفنون أن يضاف في كل وقت  
 الى قوة الاجسام المتحركة قوى جديدة

مثلاً اذا كان المطلوب نقل احمال في الطرق فلا يكفي في ذلك أن تحرك  
 هذه الاجسام مطلقاً بل يلزم تعويض ما انعدم بالمقاومات في كل وقت  
 وهو الذي يمكن تحصيله بواسطة الناس والحيوانات المعدة لذلك الاحمال  
 وتكون كمية القوى التي يلزم استعمالها في كل وقت مساوية بداهة للقوى

المعدومة في الوقت المذكور وينبغي أن نعتبر أن مجموع ازيد القوى المستعملة

في النقل عقب زمن معلوم مساو لمجموع القوى المعدومة بالمقاومات  
 فعلى ذلك اذا مشى انسان بقوة مستمرة زمن معلوم فمجموع القوى  
 المستعملة في هذا الزمن يكون دالاً على مجموع القوى المعدومة

ويؤخذ من ذلك ان تصرف القوى يكون على حسب المسافة في الكبر  
 فاذا كان التحرك منتظماً من جميع جهاته كانت القوى المشتملة لتحصيلة  
 في زمن معلوم مناسبة لهذا الزمن تناسباً مطرداً

ولننبه حيثئذ على الفاضل الغاف الحاصل من جهة بين التحركات التي يمكن

وجودها في الفراغ بدون نوع تام من الاحتكاك والحاصل من جهة أخرى بين التحركات الحادثة منا على الأرض فنقول إذا اردنا معرفة مسافة سير الكواكب السيارة اودوات الذنب اواى جرم في السماء وكان هذا التحرك حاصلًا بنفسه فانه يكفي اخذ زنة هذه الكواكب السيارة اودوات الذنب او الجرم المذكور لاجل ضرب ثقل ذلك في السرعة ويكون الحاصل باقيا على حالة واحدة في اى مسافة للنقل لانه لا يحتاج الى صرف قوى جديدة لاجل استمرار النقل المذكور الا انه في الأرض ينبغي أن يضاف الى هذا المجموع الأول على الأرض مجموع آخر يدل على القوى المدومة في كل وقت فاذا اخذنا هذا المجموع الأخير في الازدياد دائما فانه يفوق المجموع الأول حتى يمكن اهماله وحيث يقال كما يقول متهمدو النقل ان اجرة النقل تكون مناسبة للمسافات المقطوعة ما لم يكن هناك مانع وليست هذه الملاحظات خاصة بالنقل بل نعمه هو واغلب ما يعرض للآلات من التحركات الناشئة عن القوى المتنوعة وسيأتى لك توضيح ذلك خصوصا في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على استعمال القوى المتحركة

وقد ذكرنا ان القوة المنفردة دون غيرها من القوى تحدث التحرك دفعة واحدة بالجسم معلوم ولنفرض ان هذه القوة يتجدد تأثيرها في خلال الأزمنة المتساوية .

ولنرمز بحرف  $h$  الى المسافة المقطوعة بالجسم وبحرف  $v$  الى سرعة هذا الجسم وبحرف  $t$  الى الزمن المعدل قطع مسافة  $h$  بسرعة  $v$  وفي مبدئ وحدة الزمن الثانية تضعف القوة التي تكرر فعلها بسرعة الجسم من ثلثي فيقطع في مسافة زمن  $t$  الثاني مسافة تساوى  $\frac{1}{2} h$  وفي مبدئ وحدة الزمن الثالثة تضعف القوى التي تكرر فعلها ايضا سرعة الجسم ثلاث فيقطع في مسافة زمن  $t$  الثالث مسافة تساوى  $\frac{1}{3} h$  وهلم جرا

فاذن يحدث معنا للاوقات المختلفة

زمن ط الثاني زمن ط الثالث زمن ط الرابع زمن ط المبني  
سرعة مكسبة ٢ ن سرعة مكسبة ٣ ن سرعة مكسبة ٤ ن سرعة مكسبة ٥ ن  
مسافة مقطوعة ٢ هـ مسافة مقطوعة ٣ هـ مسافة مقطوعة ٤ هـ مسافة مقطوعة ٥ هـ

فيكون مجموع المسافات التي عددها م المقطوعة بالجسم في زمن ط  
نساوي بالبداية

هـ ٢ + هـ ٣ + هـ ٤ + هـ ٥ + ٠٠٠ + م هـ  
ولامانع من استعمال الهندسة هنا ليتضح باحد اشكالها هذه الحواصل  
النسوية للقوى فنقول

ليكن (شكل ١) مستقيم وس الرأس مقسوما الى مسافات  
متساوية تدل كل واحدة منها على وحدة زمن ط ومستقيم وص  
الانقي مقسوما ايضا الى مسافات متساوية تدل كل واحدة منها على مسافة  
هـ المقطوعة مدة زمن ط الاول فاذا وصلنا بين نقط التقسيم بمستقيمان  
اقبية ورأسية حدث عن ذلك سلام طول كل واحدة منها مسافات هـ  
و ٢ هـ و ٣ هـ و ٤ هـ الخ المقطوعة في مدة اللازمة المتوالية  
المساوية لزمن ط ويكون سطح درجاتها المختلفة

وا × هـ و اب × ٢ هـ و بث × ٣ هـ و ثد × ٤ هـ الخ  
لكن حيث كان وا = اب = بث = ثد فاذا فرضنا  
عرض جميع الدرج مساويا لوحدة يكون سطح الدرج  
بالاختصار

هـ و ٢ هـ و ٣ هـ و ٤ هـ الخ  
وسطح السلام الكلي يدل على المسافة الكلية المقطوعة بالجسم  
ولنفرض ان القوة الدافعة تؤول الى نصفها الا انها تضعف عدد دفعاتها

في زمن معلوم

وبحفظ وحدة الامتداد لا تكون درجات السلام الجديدة (شكل ٢) التي تدل على هذا التحرك البعيد الانصف العرض وتصبح ضعف السلام المتقدمة وكذلك لا يكون للمسافات المقطوعة في كل نصف زمن الانصف الزيادة الاصلية غير ان هذه الزيادة تكون ضعف الزيادة السابقة

ويمكن أن يفرض ان القوة الدافعة تكون محولة الى ثلث مقدارها الاصلى اربعة (شكل ٣) او خمسة الخ لكن بتجديد دفعاتها ثلاث مرات او اربعة او خمسة الخ بخلاف القوة الاصلية فانها لا تتجدد الدفعات المذكورة الامرة واحدة وحيث تكون التحركات مبنية بدرجات عرضها محول الى ثلث العرض الاصلى اربعة او خمسة الخ ولا يكون ازدياد طواها الا ثلث الازدياد الاصلى اربعة او خمسة الخ

فاذا مددنا مستقيم  $وز$  من رأس السلام الى نهايتها السفلى فانه يمر بجميع نقط ١ ١ ٢ ب ٣ ج ٤ د الخ التي تحددا سفلى درجات السلام وعلى ذلك تكون المسافات المقطوعة عقب ازمة

$$\begin{array}{c} \overline{ط} \text{ و } \overline{٢ ط} \text{ و } \overline{٣ ط} \text{ و } \overline{٤ ط} \text{ الخ} \\ \overline{١١} \text{ و } \overline{٢ ب} \text{ و } \overline{٣ ج} \text{ و } \overline{٤ د} \text{ الخ} \end{array}$$

ثم ان نسبة اضلاع  $وا$  اذن لا تتغير متى اخذ نصف ضلع  $وا$   $= ط$  ونصف ضلع  $ا$   $= هـ$  وثلاث  $وا$  وثلاث  $ا$   $= وربع وا$  وربع  $ا$  لا اجل عمل سلام (شكل ٢) (وشكل ٣) الدالين على التحركات التي تقدم ذكرها

ولا يتغير اتجاه  $وا$  و  $ب$  و  $ج$  و  $د$  الخ متى فرض ان تقاص مقدار القوة في نسبة واحدة مع كثرة دفعاتها مدة زمن معلوم فاذا تكاثرت الدفعات وكانت القوة صغيرة جدا في كل دفعة واقتضى الحال اقسام  $وا = ط$  و  $ا = هـ$  الى اجزاء منساوية دقيقة جدا فان وجهة سلام ١ ١ و ٢ ب و ٣ ج و ٤ د الخ

(شكل ١) تكون مستقيما واحدا مستقيم وز بحسب النظر (شكل ٤)  
 وحيث كان سطح سلام و ١ ١ ٢ ب الخ زس دالا على المسافة  
 الكلية المقطوعة بالجسم مدة الزمن المبين بخط وس يكون في هذه الحالة  
 سطحا مثلث وسز (شكل ٤)

وحيث ان السرعة مناسبة للمسافة المقسومة على الزمن (المجموع هنا واحدة)  
 فان اطوال درجات آ و ب و ث تكون دالة  
 على السرعة المتعددة المكتسبة من الجسم عقب زمن مساو لكل من ١ ط  
٢ ٣ ط الخ

فاذن تكون هذه السرعة باقية على حالة واحدة عقب زمن واحد بفرض ان  
 القوة المحولة الى  $\frac{1}{4}$  و  $\frac{1}{3}$  و  $\frac{1}{2}$  و  $\frac{1}{5}$  الخ  
 تؤثر في الجسم مرتين او ٣ او ٤ او ٥ الخ بخلاف القوة الاصلية  
 فانها لا تؤثر فيه الا مرة واحدة

واذا كان عدد الدفعات عظيما جدا مدة زمن معلوم وكان لا يمكن تمييزها  
 بسبب تغير السرعة المتعددة على حين غفلة فان مستقيم وز (شكل ٤)  
 و (شكل ٥) يدل كما ذكر على السرعة المكتسبة متى دل وس على الازمنة  
 الماضية و سطح السلام الذي يكون حينئذ سطح مثلث وسز يدل على  
 المسافات المقطوعة وبناء على ذلك تكون السرعة المكتسبة مينة بطول  
سز وكذلك المسافة المقطوعة تكون مينة ب سطح وسز وذلك  
 عقب الزمن المرموز اليه بخط وس

فاذا رمزنا بحرف ط و ط الى الزمنين المبيين بخطى اوس  
 و وس (شكل ٥) ورمزنا بحرفي ق و ق الى سرعتين  
 المبيتين بخطى سز و سز ثم بحرفي هـ و هـ الى المسافتين  
 المبيتتين ب سطح مثلثي وسز و وسز فانه يحدث عن ذلك

$$\begin{array}{l} \text{وس} : \text{وس} :: \text{سز} : \text{سز} \\ \text{او ط} : \text{ط} :: \text{ق} : \text{ق} \end{array}$$

وحينئذ تكون في التحرك المعبر عندنا سرعتا  $ق$  و  $ق$  المكتسبتان

عقب زمني  $ط$  و  $ط$  مناسبتين لهذين الزمنين

وزيادة على ذلك بمقتضى الدرس الخامس من الهندسة يكون

سطح  $وسز$  : سطح  $وسز$  ::  $وسه$  :  $وس$

او  $ه$  :  $ه$  ::  $ط$  :  $ط$

فاذن تكون المسافات مناسبة لمربعات الازمنة المعتبرة لقطعها

وعليه فيقال حيث كانت الازمنة  $١ط$  و  $٢ط$  و  $٣ط$  و  $٤ط$  و  $٥ط$  و  $٦ط$  الخ

فان المسافات المقطوعة تكون  $١ه$  و  $٤ه$  و  $٩ه$  و  $١٦ه$  و  $٢٥ه$  و  $٣٦ه$  الخ

وحيث كان في مثلئ  $وسز$  و  $وسز$  المتشابهين

سطح  $وسز$  : سطح  $وسز$  ::  $سز$  :  $سز$

او  $ه$  :  $ه$  ::  $ق$  :  $ق$

فالمسافات المقطوعة في ازيمة معلومة تكون حينئذ مناسبة لمربعات السرعة

المتعددة المكتسبة في نهاية هذه الازمنة

وبناء على ذلك

ففي عقب ازيمة  $١ط$  و  $٢ط$  و  $٣ط$  و  $٤ط$  و  $٥ط$  و  $٦ط$  الخ

تكون السرعة المكتسبة  $١ق$  و  $٢ق$  و  $٣ق$  و  $٤ق$  و  $٥ق$  و  $٦ق$  الخ

والمسافات المقطوعة  $١ه$  و  $٤ه$  و  $٩ه$  و  $١٦ه$  و  $٢٥ه$  و  $٣٦ه$  الخ

فاذا فرض انه في عقب زمن  $ط$  المين بخط  $وس$  (شكل ٥)

بطل عمل القوة الدافعة من اول وهلة فان الجسم يتحرك بسرعة  $ق$  الثابتة

المبينة بخط  $سز$  وحينئذ تكون الخطوط الاقضية المتساوية وهي  $سز$

$= سز = سز$  دالة على هذه السرعة الثابتة

وسطح مثلث  $وسز$  يدل على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن  $ط$

بعده قوى دافعة صغيرة جدا تأثيرها ثابت على الدوام

وسطح مستطيل  $سز زس$  الذي هو ضعف مثلث  $وسز$  يدل



على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن ثان مر موزله بحرف ط بسرعة  
 ثابتة مكنسبة عقب زمن ط الأول  
 وعلى ذلك اذا جدت قوة ثابتة صغيرة جدا دفعاتها في مسافات صغيرة متخللة  
 بين ازمدة متساوية فان المسافة الكلية التي قطعها الجسم بتلك القوة في مدة  
 زمن ط تكون نصف المسافة التي كان يقطعها هذا الجسم في نفس زمن ط  
 لولم تجدد القوة المذكورة دفعاتها

\*(بيان التناقل)\*

قد دلت الطبيعة على مثال عظيم متعلق بالتكرار المستمر الحاصل من القوة  
 الدافعة الثابتة وهي ان لجميع الاجسام انجذابا واميلا الى مركز الارض فتكون  
 القوة المذكورة محسوسة متى منعت عن جذب الجسم المطلوب نقله وتكون قوة  
 التناقل في كل وقت معدومة بمقاومة الجسم ثم تتجدد ثانيا وقتا بعد آخر  
 بتأثير مستمر واحد

وعليه فجميع النتائج المتحصلة بواسطة القوى التي تتجدد دفعاتها كل وقت  
 توافق ايضا قوة التناقل

وحينئذ اذا سقط جسم بدون معارض ولا مانع حدث عن ذلك اربع حالات  
 (أولا) ان السرعة المتكررة المكتسبة تكون مناسبة للارزمة المعدة  
 لاكتسابها

(ثانيا) ان المسافات الكلية التي يقطعها الجسم المذكور تكون مناسبة  
 لمربعات الارزمة المعدة لقطعها

(ثالثا) ان تلك المسافات الكلية المقطوعة تكون مناسبة لمربعات السرعة  
 المتكررة المكتسبة بالجسم عقب كل مسافة مقطوعة

(رابعا) اذا اخذ الجسم عقب زمن معلوم سرعة ثابتة مساوية للسرعة التي  
 اكتسبها في هذا الزمن بعينه فانه يقطع مسافة كلية ضعف المسافة التي قطعها  
 وذلك مع ازدياد سرعته بالتدريج

وفي اي مكان من الارض تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند سقوطه

في اول ثانية مساوية  $٩٠٤٣٩٧٥$  ر<sup>٢</sup> فلا مانع حينئذ من ان سرعته  
المكتسبة في عقب الثانية تجبره على قطع ضعف تلك المسافة مع الانتظام

بمعنى انها تكون مساوية  $٨٠٨٧٩٥$  ر<sup>٢</sup> في الثانية الواحدة  
وفي عقب ١٠ ثوان تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند وقوعه بدون  
معارض مساوية ١٠٠ مرة للمسافة التي يقطعها مدة الثانية الواحدة  
اي انها تساوي  $٤٣٩٧٥$  ر<sup>٢</sup> وتساوي ايضا في الدقيقة الواحدة

$١٧٦٥٥٠٠٨٣١$

ولابد للاجسام الساقطة من شئ عظيم فصل به سرعتها الى هذه الدرجة وذلك  
لمقاومة الهواء لها (كما سيأتي في استعمال القوى المحركة المذكورة في الجزء الثالث)

### \* (تطبيق) \*

اذا لم تكن المسافات المعدة للقطع كبيرة جدًا واستعملت اجسام كبيرة جدًا  
فانه يمكن بواسطة الآلة الحسائية الدالة على اخماس الثانية الواحدة قياس عمق  
البئر وارتفاع الحائط والقبعة ونحو ذلك قياسا تقريبا مستعملا فاذا خلى  
الجسم ونفسه للوقوع وعدت الثواني وكسورها التي يقطع بها الجسم المذكور  
هذه المسافة فان مربع هذا العدد يضرب في  $٩٠٤$  ر<sup>٢</sup> الخ ويكون حاصل  
ذلك هو المسافة المقطوعة

ولنذهب على ما بين الهندسة والميكانيكا من الارتباط الذي يعلم به ارتفاع عمارة  
او عمق معدن بواسطة النظر في الساعة ويعلم به ايضا طول زمن مضى بواسطة  
قياس المسافة قياسا بسيطا فنقول قد استبان من الهندولات مثال شهير في شأن  
الارتباط الحاصل بين العلمين المذكورين الذين جمعت قواعدهما وتساخجها  
لتتضح بها سبل الصناعة وتسهل مزاولتها

فاذا عرفت ما ذكره لك في شأن تأثير ايدى الاهوان وآلات الدق وضرب

التقود والمطارق ونحو ذلك انضم لك انهم توصلوا بواسطة الفنون الى تطبيق  
قوانين سقوط الاجسام وتوسيع دائرتها والاهتمام بشأنها تطبيقا مفيدا  
وان معرفة هذه القوانين مما لا بد منه

ولنفرض انه حين شروع التناقل في اندفاعاته المتكررة كل وقت يكسب  
الجسم معرفة ما وفي ذلك ثلاث صور

الصورة الاولى اذا كانت السرعة الاصلية متجهة جهة التناقل فحيث كانت  
ثابتة فانها تنضم الى السرعة المتعددة الحادثة من التناقل المذكور

وفي هذه الصورة يطلق على التناقل بالنظر للاجسام التي تزداد سرعتها ونسير  
مع المجلة في كل وقت اسم القوة المجلة

الصورة الثانية اذا كانت السرعة الاصلية متجهة الى جهة مضادة لجهة  
التناقل فان هذا التناقل ينقص السرعة المذكورة في كل وقت وحيث كان  
التناقل المذكور يعطل سير الجسم بلا انقطاع اطلق عليه اسم القوة المعطلة  
البطيئة

مثلا اذا اطلقنا طنجعة من اعلى الى اسفل فان الرصاصة الخارجة منها تقع  
في مبداء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل ثم تزداد هذه السرعة  
بتأثيرات التناقل المتكررة المشابهة لتأثير القوة المجلة

واذا اطلقنا طنجعة من اسفل الى اعلى فان الرصاصة ترتفع في مبداء الامر بالسرعة  
الحادثة لها من البارود المشتعل غير ان تحررها يتعطل في كل وقت بما يحدث  
عن التناقل من التأثير المتجدد المشابه لتأثير القوة المعطلة

وفي عقب زمن ايا كان تبطل سرعة الرصاصة الاصلية بتأثير التناقل المتضاد  
فتمتلك هذه الرصاصة ساكنة زمانا ثم تهب بتأثير التناقل من الوضع الذي كانت  
فيه وهي ساكنة ويستمر التناقل على ذلك كقوة مجلة

وفي هذا التحرك الجديد تزيد قوة التناقل في كل وقت بكمية من التأثير مساوية  
بالضبط للكمية المنقوصة مدة صعود الرصاصة وعليه ففي مدة الزمن  
المذكورة تقطع الرصاصة مسافات متساوية قبل الوقت الذي تصل فيه

الى اقصى درجة من الارتفاع وكذلك بعده سواء كانت صاعدة اوهابطة  
وتكون معصوبة دائما بسرعتها المكسبة اذا وصلت الى ارتفاع واحد  
سواء كانت صاعدة اوهابطة ايضا

ويجب حفظ ما ذكرناه لانه من اعظم قواعد علم الميكانيكافائدة وسيأتى لك  
مايدل على اهمية تطبيقاتها المتعددة على الصناعة

والسرعة المعدومة بالرصاص الصاعدة مناسبة للزمن الماضى منذ اطلاقها  
وتقصان المسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة مناسب لمربع هذا الزمن  
والسرعة المكسبة بالرصاص الهابطة مناسبة للزمن الماضى منذ شروعها  
فى الهبوط والمسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة بواسطة التثاقل مناسبة  
لمربع هذا الزمن

وتطلق القوى البسيطة على القوى التى لا تؤثر فى الجسم الامرة واحدة  
وبها تكون المسافات المقطوعة مناسبة للسرعة الثابتة المتعددة  
وتطلق القوى النشاطية على القوى المجتلة او المعطلة التى يكون قياسها معلوما  
من مربع السرعة المكسبة المتعددة

واى وضع وجد فيه الجسم مدفوعا لباى سرعة كانت فانه اذا هبط مدة زمن ط  
اكتسب سرعة ق المناسبة لزمن ط المذكور وعليه اذا كان م رمزا  
لجسم هذا الجسم فانه يكتسب كمية من التحرك تساوى م × ق وهذه  
الكمية هى مقدار القوة النشاطية من م

فاذا اوقفنا جسما ليكتسب قوة يمكن استعمالها فيما بعد فى اشغال الصناعة  
فانه يستدل على كمية القوى التى يجمعها بضرب مجسمه فى سرعته المكسبة  
وذلك فى عقب

$$١, ٢, ٣, ٤ \dots \text{الخ من الثوابت}$$

$$١, ٤, ٩, ١٦ \dots \text{الخ م} \times ٨٠٨٧٩٥, ٩$$

فاذا اخذت هذه المقادير من الشمال الى اليمين اذن للجسم الهابط القوة النشاطية

المتزايدة وإذا اخذتها من اليمين الى الشمال أدت للجسم الصاعد القوة النشطة  
المتناقصة

والفاضل بين هذه القوى هو عين الفاضل بين الارتفاعات سواء كانت القوى  
المذكورة صاعدة اوهابطة

وحينئذ اذا وقع جسم بدون معارض بقوة نشاطية مكتسبة من ابتداء  
نقطة  $A$  الى نقطة  $B$  او حذف هذا الجسم من اسفل الى اعلى بالقوة  
المذكورة فانه يرتفع من  $B$  الى  $A$  قبل أن تبطل قوة التناقل المعطلة  
جميع ما تحصل منها في مبداء الامر عند تنزيلها للجسم المذكور

ومن ثم يعلم انه لا يمكن استخراج فائدة من القوة المكتسبة بالجسم الهابط  
ليصعد بها اعلى من نقطة مبداء سيره ولا من القوة المعدومة بالجسم الصاعد  
لترداد قوته بواسطة سقوطه اذا اقتضى الحال رجوعه الى نقطة مبداء سيره

وهذه الحقائق في غاية السهولة ومع ذلك اذا تفطن اليها العقل حاد بها عن الوقوع  
في الاختلاطات والتراكيب الفاسدة والمباحث الخالية عن الفائدة المتعلقة  
بالتحرك الدائم

فاذا كان هناك جسم ساكن ووقع عليه تأثير الهواء كان هذا التأثير قوة  
دافعة له تتجدد دائما حتى يكتسب سرعة مساوية لسرعة الهواء المذكور  
لكن كلما اكتسب الجسم المذكور سرعة اكبر من الاولى حصل له من الهواء  
دفعه غير قويه وعليه ففي هذه الحالة لا تكون القوة المجمله ثابتة وكذلك  
لا تكون القوانين المحكمة المنتظمة لنسب الزمن مع السرعة المتكررة والمسافات  
المقطوعة اسهل من القوانين التي ذكرناها وينتطبيقها على التناقل

(وسأني ان قوة التناقل لا تكون ثابتة على ابعاد متباعدة من مركز الارض)

واذا فرضنا ان جسما يتحرك في الهواء الساكن اوفى اتجاه مضاد لاتجاه الهواء  
فانه بمجرد ازدياد سرعته يحصل له من الهواء مقاومة متزايدة وعليه فلا يكون  
الهواء مؤثرا كالقوة المعطلة الثابتة قط بل يكون مؤثرا كالقوة المعطلة  
المتزايدة

وسأتي لهذه الملاحظات التي ذكرناها هنا على وجه اجمالي مزيد توضيح عند تعريف طبيعة قوة الهواء الخاصة وبيان تطبيقها على الصناعة (في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة المطبقة على الصناعة) هذا ولم يبق علينا الا الصورة الثالثة ولنذكرها هنا فنقول ان هذه الصورة هي التي تكون فيها القوة الاصلية متجهة الى جهة مخالفة لتأثير القوى المعجلة او المعطلة وحينئذ لا يقطع الجسم خطا مستقيما وانما يرسم منحنيًا تكون خاصيته وانحناءه على حسب تأثير القوى المعجلة او المعطلة وشدة تلك القوى ولانذكر هنا الا قوتين وهما قوة الهواء وقوة التناقل اللتان يؤثران في تحرك الاجسام سرعة او بطأ واما الصناعة فيستعمل فيها جملة عظيمة من القوى الاخرى بل انما تبطل مقاومة ما سايرهما من القوى لاجل تحصيل النتائج المطلوبة وقد تقدم الكلام على بعض تلك القوى ولترجع الى ما نحن بصدده فنقول

اذا كان هناك مقيسة متحركة على الماء فان تحركها يكون بقوة مستمرة تغلبها من حالة السكون حتى تصل الى غاية ما يمكن من السرعة فيلزم ان تبطل بالتدريج مقاومات الماء الشبيهة بتأثير القوة المعطلة ولا تصل الى حالة التحرك المنتظم او المنتسق الا اذا كان ما ينعدم من السرعة بتأثير القوة المعطلة مساويا لما يتجدد من السرعة عن القوة الدافعة التي يفرض تجدد تأثيرها في كل وقت تساويا مضبوطا

وقد امتازت القوة الدافعة عن غيرها من القوى في انواع الالات بكون تأثيرها يزيد في كل وقت بكمية معلومة لاجل ابطال المقاومات التي تجدد في كل وقت لابطال هذه الكمية بعينها

ففي اخنت آلة في التحرك فليكن يظهر بالقوة الدافعة على القوة المعطلة فينشأ من ذلك استمرارها على هذا التحرك وهو الذي يزداد بالتدريج حتى يصل الى الدرجة التي يكون ما ينعدم فيها من السرعة في كل وقت بالمقاومات مساويا لما يتجدد منها اي السرعة بالقوة الدافعة وبالوصول الى هذه الدرجة يكون

تتحرك الآلة منتظما او منتسقا وهذا التحرك هو الجارى فى الاشغال العادية من اشغال الصناعة

وللتحركات الاولى المتغيرة مزية على غيرها فى تحرك الآلات وهى ان سرعتها فى مبداء الامر تكون معدومة ثم تتجدد وتزداد بالتدرج حتى تصل الى السرعة الثابتة المستعملة فى الاشغال المستمرة

هذا ولم يبد هذه الملاحظة لمجرد الرغبة فيها بل لكونها ضرورية فى فهم تحرك الآلات فانه فى مبداء التحرك يكون جزء من القوة الدافعة معدا لان يحصل به لكل من اجزاء الآلة درجة من السرعة الموافقة لحالة الشغل العادى الثابتة وعليه فيلزم ان تلك القوة ينعدم بها أولا انزى الآلة (اى سكونها) وثانيا اوائل مقاومات القوى المعطلة لانه اذا اعطى للآلة المذكورة من اول وهلة قوة ثابتة مع السرعة اللازمة لها فى حال تحركها الاعتيادى لزم لذلك قوة وقتية عظيمة جدا حتى تبطل دفعة واحدة المقاومات الخاصة بهذه الآلة والمقاومات الحادثة من انزى اجزائها وبذلك يحشى على الاجزاء المذكورة فانه ان لم تنكسر وتلف تضعف صلابتها وسنذكر فى الكلام على تحرك الطارات المضرسية مثلا شهيرا تعلم به اهمية ما ذكر

\*( الدرس الثالث ) \*

\*( فى بيان القوى المتوازية ) \*

لا يخفى اننا الى الان لم نذكر الا القوى المتجهة على مستقيم واحد وسبق ان علمنا يزيد وينقص على حسب تأثيرها فى جهة او اخرى تقابلها فاذا كانت القوى لا تؤثر على مستقيم واحد فقط بل على مستقيمتين متوازيين فانه يحصل عن ذلك تأثير كائنا فى القوى المتقدمة

مثلا اذا كان فرسان يجزان عربى فى قطار واحد على مستقيم واحد كان تأثيرهما عين تأثير فرسين مشدودين بجانب بعضهما ويجزان ايضا بالتوازي وكذا ثلاث افراس مربوطة فى قطار واحد ومتجهة على مستقيم واحد يكون تأثيرها عين تأثير ثلاثة اخرى مشدودة بجانب بعضها وجازة بالتوازي

وهلم جزءاً

فأذن يحدث من القوى المتوازية العديدة المتجهة لجهة عين التأثير الذي يحدث من قوة واحدة تساوي مجموع تلك القوى وتجتز في اتجاه واحد وهي المعروفة بمحصلة تلك القوى

فإذا كان هناك قوى متوازية تجذب إلى امام وأخرى مثلها تجذب إلى خلف وسواءت الأولى إلى قوة واحدة مساوية لمجموعها والاخرى إلى قوة واحدة مساوية لمجموعها أيضاً فإن القوة المحصلة الكلية تكون مساوية لمقابل المجموعين ومتجهة جهة أكبرهما

وقد ذكرت لك هذه النتائج الثابتة بالتجربة لما ان استعمال هذه الكيفية الأولى من إقامة براهين غير جلية لا تنفع أرباب القرائح الجيدة فلو قلنا مثلاً كما يقول بعض مؤلفي الأصول الأولى أنه يلزم اعتبار قوتين متوازيتين في الاتجاه كالتقاطعتين في نقطة واحدة تقاطعا غير محدود ولهما اتجاه واحد غير محدود أيضاً وأكترنا التعبير بهذه الطريقة لما ذكرنا لك في الحقيقة الأشياء غامضة قليلة الوضوح وما يسهل مشاهدته إن لمحصلة القوى المتوازية اتجاهها واحداً مع القوى المركبة منها وانها تساوي مجموع ما كان منها يجذب إلى امام ناقصاً بمجموع ما كان منها يجذب إلى خلف وإنما يصعب أن يشاهد في جميع الحالات وضع المحصلة الحقيقية ومعرفة متوقعة على مراجعة الهندسة

وذلك أن الهندسة تبين بواسطة الخطوط المناسبة زيادة عن المسافات المقطوعة أو المعتدة للقطع والمسافات المنغولة بالآلات ومحمولات الصناعة أصولاً ميكانيكية فظن أنه لا علاقة بينها وبين علم الامتداد ويجب مزيد الانتباه إلى هذا الغرض المهم

وبالجملة فلا علاقة بين مدة الزمن وطول الخط إلا أن الزمن ينقسم إلى أجزاء متساوية كالساعات مثلاً وتنقسم الساعات أيضاً إلى أجزاء متساوية كال دقائق والثواني وغير ذلك والخط المستقيم أو المنحني ينقسم أيضاً إلى أجزاء متساوية مغيرة بأرقام ١ و ٢ و ٣ الخ كالساعات التي تتعاقب في السير من وقت



معين وينقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى اجزاء متساوية بقدر ما في الساعة من الدقائق وهذه التقسيمات الجديدة تدل على دقائق كل ساعة فاذا قسمنا اجزاء الخط الجديدة تقسيما ثانويا بقدر ما في الدقيقة من النواف فان التقسيمات الحادثة من ذلك تدل على النوافي وهلم جرا

فاذا وضعت الفرة بالارقام على هذه التقسيمات امكنك أن تستدل على الزمن أولا بالاعداد وثانيا باطوال الخطوط فاذا اجعت اجزاء الخط او طرحتها اوضرت بها وقسمتها كما تفعل ذلك في اجزاء الزمن الدالة عليه كان بالبداية الخط الاخير وهو حاصل جميع هذه العمليات دالا على الزمن الاخير المطلوب تقديره وهذه هي كيفية استعمال الهندسة في الاستدلال بالخطوط على الزمن

ثم ان مينات الساعات صغيرة كانت او كبيرة على شكل دائرة منقسمة الى اثني عشر جزءا متساوية تدل على الساعات ومنقسمة ايضا تقسيما ثانويا الى ستين جزءا متساوية تدل على الدقائق لكن لما كانت وحدة القياس مختلفة في الدقائق والساعات لزم للساعة عقربان ليتبعها حركتهما ولزم ايضا ان العقرب المعدل للدقائق يكون اسرع في السير من العقرب المعدل للساعات بانتي عشرة مرة

وفي المزاويل الشمسية تكون مدة الزمن مبينة ايضا باصول هندسية وهي الزوايا وذلك بان نمد من مركز المزاولة مستقيما موازيا لمحور الارض ونفرض مستويا يمر بكل من المستقيم المذكور ومركز الشمس ويدور دورانا منتظما \* والزوايا التي تقاس بحدرك تكون ايضا قياسا للمسافات المقطوعة

وكل من السرعة والزمن قابل للاستدلال عليه بالخطوط وحينئذ تكون ارتفاعات وا و اب و بث المبينة في (شكل ١ من الدرس الثاني) دالة على الازمنة الماضية \* وما يكتسبه الجسم من السرعة المتكررة يستدل عليه بمستقيمات اا و بب و ثج الخ المتوازية

وحينئذ فيستدل على للمسافات المقطوعة بالسطوح كما تقدم وحتى اريد الاستدلال على المسافات المقطوعة بخطوط مناسبة لها وعلى الازمنة بخطوط ايضا كانت السرعة المتكررة هي النسب الحاصلة بين هذه

الخطوط فاذن لا يستدل عليهما من الآن فصاعدا الا بالاعداد  
واما القوى فانها ليست من جنس الزمن ولا السرعة ولا المسافة لكنها موارد  
تستعمل الزمن لسير الاجسام من مسافة معلومة في زمن معلوم بسرعة  
معلومة

فيكن أن يستدل على القوى بخطوط مناسبة لها ومتجهة انجهاها  
كما استدل بها على الازمنة والسرعة المتكررة والمسافات

وهذه القضايا واضحة سهلة اذهم يظهر لك من اول وهلة اعظم فوائد علم  
الهندسة وانما احتيج الى هذا العلم هنا لتسهيل به معرفة الميكانيكا ولاجل  
استحضار او معرفة حقائق الاشياء وان كان لا وجود لها في الظاهر بحيث يمكن  
ادراكها بالحواس كالزمن فانه لا يمكن رؤيته ولا مسه ولا سماعه وانما يمكن  
رؤية الخطوط والنقط والارقام المرسومة على المذولة ويؤخذ من ذلك ان الاشياء  
تكون مشاهدة دائما بواسطة الهندسة وبها يمكن قياس الزمن \*

وكذلك لا يمكن رؤية نقل الجؤ ولا سماعه ولا مسه وانما يمكن رؤية تقاسيم المستقيم  
المرسوم بقدر طول البارومتر (وهو ميزان الهواء) الذي تعرف به تغيرات نقل  
الجؤ ويتوصل بالهندسة الى ادراك ذلك كله بالحواس

ولا يمكن ايضا الحكم بمجرد النظر على الضغط الحادث عن البخار في قدر من آلة  
البخار وانما يمكن بواسطة المانومتر (وهو ميزان الانبجزة) الذي هو كناية  
عن بارومتر بخاري أن يستدل على هذا الضغط بخط منقسم الى اجزاء متساوية  
وسياق لك ذلك في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة

فلا غرو حينئذ في الاستدلال على القوى بخطوط مستقيمة \* واتجاه هذه  
الخطوط هو عين الاتجاه الذي يتبعه الجسم الواقع عليه تأثير القوة المبينة  
بما تقدم \* ويطول الخط يدل على مقدار القوة ولترجع الى ما نحن بصدده وهو  
القوى المتوازية فنقول

معي كان القوتان المرموز اليهما بمستقيمي **اس** و **بص** (شكل ١)  
جاذبتين لمستقيم **اب** العمودي عليهما كان قضيب **شر** مربوط

بمنتصف **أ ب** والموازي لهاتين القوتين والموضوع على وجه منتظم بالنسبة لهما دالا بالبداية على اتجاه محصلتهما وبالجملة فحيث كانت قوة اليمين ليست اكبر من قوة الشمال فلا داعي لان تكون المحصلة اقرب الى اليمين من الشمال اوالى الشمال من اليمين

فاذا كان هنالك ثلاث قوى جاذبة بالتوازي لمستقيمات **ا س** و **ب ق** و **ش ز** (شكل ٢) وموضوعة على بعد واحد من بعضها فان المحصلة تقع في **ب ق** وهلم جرا وهاتان الصورتان يجريان في كثير من عمليات النقل بالعربات

مثلا اذا جرت فرس واحد عبرية بواسطة مجترين موضوعين وضعا منتظما على يمين منتصف العربية وشماله فانه يسحب بالسوية مجرى اليمين والشمال وعليه فينبغي أن تسير العربية الى الامام في اتجاه مواز للمجترين المذكورين كما اذا كان الفرس لا يجتر للابواسطة حبل او جزار ثابت في منتصف العربية

واذا كان هنالك فرسان جاذبان بجانب بعضهما فانهما يكونان على بعد واحد من نقطة المنتصف وهي **ع** (شكل ٣) وعلى ذلك تكون مجترات **ط**

و **ط** و **ط** و **ط** الاربعة موضوعة وضعا منتظما على يمين المنتصف وشماله ويبان ذلك أولا ان محصلة مجرى **ط** و **ط** مساوية **ط + ط** وواقعة على **ه** في منتصف كتف العربية وهو **ا** وثانيا ان محصلة مجرى **ط** و **ط** مساوية **ط + ط** وواقعة على **ف** في منتصف الكتف الثاني للعربية وهو **ش** وثالثا ان لقوتى **ه ه** و **ف ف** محصلة وهي **غ غ** مساوية لمجموعهما وهو **ط + ط + ط + ط** وموضوعة على بعد واحد من **ه ه** و **ف ف**

فعلى ذلك يكون مستقيم **غ غ** المارة بمنتصف العربية دالا في الاتجاه على المحصلة الناتجة

ولنفرض ان هنالك قوتين متوازيتين وهما **ا س** و **ص ص** غير متساويتين وجاذبتين لتضيب **ا ر** (شكل ٤) والمطلوب معرفة وضع المحصلة

فلاجل ذلك نفرض أن  $\overline{س ر ا ث}$   $\overline{ص ر ث}$  (شكل ٥) منشوران  
 او اسطوانتان متجانستان ومتحدتان في السمك والطول بحيث اذا انطبق احد  
 طرفيهما على الآخر كانا شاذين بطول  $\overline{ا س}$  مرتين وهذا ما يمكن عمله دائما  
 فاذا افترضنا هذا المنضم لك أن نقل  $\overline{ث ا س} = \overline{س و ث}$   $\overline{ص ر}$   
 $\overline{ص} =$  لا يتغيران اذا علق  $\overline{ث ا س}$  و  $\overline{ث ص}$  من منتصفهما  
 تعليقا اقويا فينتد بوجود بين  $\overline{ا و}$  أولا نصف طول الثقل الصغير  
 وثانيا نصف طول الثقل الكبير وعليه يكون مجموع نصفي الطولين المذكورين  
 مساويا لبعده  $\overline{ا س}$  فاذن ينطبق الثقلان على بعضهما ويكونان موضوعين  
 على وجه بحيث لا يتكون منهما الا ثقل واحد فاذا فرض انهما من مبداء الامر  
 متلاصقان فذلك لا يغير موازنهما لكن ثقل  $\overline{س ص}$  المنكوب منهما المتحد  
 السمك في كل من طرفيه يكون بالبداهة متوازنا عند تعليقه من منتصفه بقوة  
 واحدة وليكن  $\overline{ث}$  رمز هذا المنتصف فتكون محصلة قوتي  $\overline{س و ث}$  و  $\overline{ص}$   
 وهي  $\overline{ر}$  مارة بنقطة  $\overline{ث}$  المذكورة

فاذا فرض عكس طرفي  $\overline{ا س}$  بأن جعل احدهما موضع الآخر وكانت قطعة  
 $\overline{ث}$  موضوعة على  $\overline{ث}$  حدث بالبداهة هذا التساوي وهو  

$$\overline{ر} = \overline{ا ث} = \overline{ث} = \overline{س} = \overline{ص}$$

$$\overline{ا ث} = \overline{ر} = \overline{ث} = \overline{س} = \overline{ص}$$

وعلى ذلك تكون نقطة  $\overline{ث}$  واقعة على نقطة  $\overline{ث}$  في منتصف  $\overline{ا س}$   
 فاذن ينبغي الوضع في  $\overline{ث}$  على ابعاد متساوية من  $\overline{ا س}$  و  $\overline{س و ر}$   
 المناسبين لقوتي  $\overline{س و ر}$  و  $\overline{ا س}$  لاجل تحصيل نقطة وقوع المحصلة  
 ولذا كررنا مثلا في شأن هذه الحقيقة يتعلق بجبر العربات بالخيول فنقول  
 يستعمل في ذلك غالبا هذه الطريقة وحاصلها انه اذا كان هناك ثلاث افراس  
 وهي  $\overline{س و ر و ص}$  (شكل ٦) مربوطة بجانب بعضها فان  
 الفرسين المرموز اليهما بجحرفي  $\overline{ص و ر}$  يكونان مربوطين بكتف العرب  
 وهو  $\overline{ا}$  ونكون محصلتهما وهي  $\overline{ث ر}$  مساوية لمجموع قوتيهما

وموضوعة في منتصف  $\overline{AR}$  وهذه المحصلة تقع مباشرة على قوة القوس  
الثالث وعليه فتوضع نقطة  $H$  مرتين قريبا من  $\overline{SR}$  و  $\overline{RS}$  وهي  
نقطة وقوع قوتي  $\overline{SR}$  و  $\overline{RS}$  وبناء على ذلك تكون أيضا نقطة وقوع  
المحصلة الناتجة منهما وهي  $X$  وقد يكون  $H$   $X$  متجهما على محور العربة  
الطولى

وليفرض كما في (شكل ٤) أن قوة  $\overline{R} = \overline{S} + \overline{ص}$  تفوق  
على قوة  $\overline{ص}$  قليلا قليلا حيث أن  $\overline{S}$  تنقص كثيرا كثيرا فإذا فرض  
في مساواة  $\overline{R} \times \overline{Rث} = \overline{S} \times \overline{AR}$  أن  $\overline{R}$  و  $\overline{Rث}$   
لا يتغيران فلا خفا أنه كلما تنقص  $\overline{S}$  ازداد  $\overline{AR}$  وإذا كانت قوة  $\overline{S}$   
محوطة بالتوالي إلى نصف طولها الأصلي أو ثلثه أو ربعه أو غير ذلك لزم أن يكون  
بعد  $\overline{ARث}$  مضعفا مئتي وثلاث ورباع وهكذا لاجل حفظ حاصل  $\overline{S} \times \overline{AR}$   
وإذا بلغ  $\overline{AR}$  في الكبر ما بلغ فإنه يوجد دائما مقدار صغير لقوة  $\overline{S}$  التي لا مانع  
من مكافئتها للمساواة المتقدمة فاذن يفوق  $\overline{R} = \overline{S} + \overline{ص}$   
على  $\overline{ص}$  بكمية يسيرة وهي  $\overline{S}$

ويحدث من ذلك القضية المشهورة وهي أنه لا يمكن توازن قوتين كقوتي  $\overline{ص}$   
و  $\overline{R}$  مع قوة ثالثة كقوة  $\overline{S}$  متى كانتا مساويتين ومتوازيتين ومتجهتين  
إلى جهتين متضادتين وإذا بلغت قوة  $\overline{S}$  في الصغر والتباعد ما بلغت فإنها  
لا تبلغ في ذلك حد الكفاية

وحيث أن القوة الكلية لا يمكن أن توازن قوتين متساويتين ومتضادتين  
ومتوازيتين يلزم أن لا يكون لهاتين القوتين محصلة كلية قابلة لأن تسير الجسم  
إلى الامام على خط مستقيم فاذن يحدث عن هاتين القوتين المتساويتين  
المتضادتين المتوازيتين على الجسم الواقعتين عليه تأثير آخر بدلا عن التأثير  
الذي يسيره على مستقيم واحد وسيأتي الكلام على ما يكون للجسم من قوانين  
التحرك الجديد في الدرس الرابع بعد توضيح ما يتعلق بالتحرك كان الحادثة على  
مستقيم واحد

انرجع الى تأثير القوتين المتوازيتين التي يمكن أن يكون لهما محصلة ونذكر في شأنها  
باعدة شهيرة فنقول

حي كان هنالك قوتان كقوتَي  $\overline{BS}$  و  $\overline{VS}$  واقعتان عموديا على قضيب  
 $\overline{AB}$  (شكل ٧) فاذا انحرقتا بالسوية بشرط انه لا يتغير توازيهما في  $\overline{S}$   
 $\overline{VS}$  كانت محصلتهما وهي  $\overline{R}$  المساوية لمجموعهما دائما واقعة على  
قطعة  $\overline{AT}$  وحيث لا يكون لوضع نقطة الوقوع ولا المقدار المحصلة تعلق بميل  
هاتين القوتين المتوازيتين بالنسبة للمستقيم الواصل بين نقطتي وقوعهما  
ثم ان هذه الاندماجية وهي خاصية التحرك التي هي بحسب الظاهر في غاية السهولة  
لها نتائج عظيمة وغمرات جسيمة في علم الميكانيكا والصناعة ولندكر الخواص  
الاصلية فنقول

اذا فرض ان هنالك ثلاث قوى متوازية كقوتَي  $\overline{VS}$  و  $\overline{VS}$  و  $\overline{Z}$   
واقعة على ثلاث نقطليات على مستقيم واحد (شكل ٨) وان  $\overline{AS}$   
و  $\overline{BS}$  و  $\overline{SZ}$  دالة على اتجاهات تلك القوى كان قوتَي  $\overline{VS}$   
و  $\overline{VS}$  في مبداء الامر محصلة  $\overline{R}$  الواقعة على قطعة  $\overline{K}$  والمساوية  $\overline{S}$   
+  $\overline{VS}$  والموضوعة على وجه بحيث يحدث عنه هذا التناسب

$$\overline{DA} : \overline{DB} :: \overline{VS} : \overline{S}$$

ثم يكون قوتَي  $\overline{R}$  و  $\overline{Z}$  محصلة  $\overline{VS}$  =  $\overline{R}$  +  $\overline{Z}$  =  $\overline{S}$   
+  $\overline{VS}$  +  $\overline{Z}$  فتكون نقطة الوقوع وهي  $\overline{H}$  لمصلحة  $\overline{VS}$   
موضوعة بحسب هذا التناسب

$$\overline{DH} : \overline{HT} :: \overline{Z} : \overline{R}$$

فاذا تقرر هذا وتغير اتجاه جميع القوى بدون أن يتغير توازيها وكان وضع نقطتي  
 $\overline{D}$  و  $\overline{H}$  غير متعلق باتجاه تلك القوى يلزم أن يكون هذا الوضع باقيا على حالة  
واحدة وعلى ذلك فحق تغير اتجاه القوى المتوازية الواقعة على  $\overline{A}$  و  $\overline{B}$   
و  $\overline{T}$  على أي وجه كان بحيث لا يعدم توازيها فان نقطة وقوع المحصلة  
تكون دائما نقطة  $\overline{H}$

فإذا كانت القوى اربعا او خسا اوستا فان نقطة وقوعها لا تتغير ولو تغير اتجاه  
جميع القوى المركبة معا بشرط أن تكون باقية على توازيتها  
هذا ويمكن أن نعتبر الجسم كمجموع عدة اجزاء صغيرة مادية مندفعه جهة  
الارض بواسطة قوى اتجاهاها متوازية تقريرا ويمكن اعتبار تلك الاجزاء  
كالقوى في التوازي بدون خطأ بين

فإذا كان الجسم في وضع وادير الى آخر واقتضى الحال البحث في كل وضع عن  
نقطة وقوع القوة الكلية المحصلة من ثقل كل جزء صغير من الجسم فاننا نجد  
دائما نقطة واحدة وهي نقطة شهيرة تعرف بمركز الثقل

وبواسطة التجربة تتحقق من خاصية الاجسام عند ثقليةها بخيط في اتجاهات  
مختلفة وتوازنها به فيكون هذا الخيط بالبداية تابعا لاتجاه محصلة ثقل جميع  
اجزاء الجسم ويعلم من ذلك انه يكون دائما في اتجاه مار بنقطة منفردة وهي  
مركز الثقل

ولخاصية مركز الثقل بالنظر الى الثقبون فوائد عظيمة في تحرك الاجسام  
ولنفرض أن جسما ذا شكل ما يتحرك على مستقيم واحد بدون أن يدور فكل  
من اجزائه الصغيرة التي يطلق عليها اسم العناصر يكون مدفوعا بقوة مناسبة  
اولا للسرعة المشتركة وثانيا لكمية المادة التي يحتوي عليها هذا العنصر  
وفي التحرك المستقيم الذي كالاتجاه يتحرك كل عنصر على مستقيم واحد  
فيكون مدفوعا بقوة متجهة الى جهة هذا المستقيم ومناسبة اولاً لجسمه  
وثانيا لسرعته

ولنفرض مثلاً جسماً طوله متر واحد فاذا جعلنا هذا الطول قاعدة لثلث  
رأسه في مركز الارض حدث عن ذلك مثلث ليست قاعدته جزءاً من ستة من  
مليون من ارتفاعه ولا يحدث عن ضلعيه الطويلين الدالين على اتجاه التناقل  
زاوية مساوية لجزء من مائة من الف من الدرجة الواحدة وهذه الزاوية لا يمكن  
قياسها باعظم الآلات مع الضبط والصحة

ولجميع هذه القوى المتقدمة محصلة واحدة موازية لاتجاهها المشترك ومساوية

لجميعها ومارة بمركزها وهي عناصر كز ثقل الجسم  
وعلى ذلك يتحرك الجسم بهذه المثابة اعني يتبع مستقيما واحدا بدون دوران  
وذلك باحد شروط ثلاثة وهي

(اولا) أن يكون كل من عناصر الجسم مدفوعا بقوة واحدة مناسبة لجسم  
هذا العنصر ومتجهة الى اتجاه معلوم

(ثانيا) أن يكون الجسم كله مدفوعا بقوة واحدة موازية لاتجاه معلوم  
ومارة بمركز ثقل الجسم

(ثالثا) أن يكون مدفوعا بقوة متوازية لها محصلة واحدة مارة بمركز  
ثقل هذا الجسم

فعلى ذلك اذا اريد منع الجسم الذي يسير الى الامام على مستقيم واحد عن  
التحرك بالكايبة بواسطة قوة واحدة لزم أن يكون اتجاه هذه القوة مارا بمركز  
ثقل الجسم

واما اذا اريد منعه عن التحرك بواسطة عدة قوى فيلزم أن تكون محصلة  
هذه القوى مارة بمركز ثقله

وقد اثبتنا فيما سبق انه اذا علق او اسند جسم من نقطة واحدة فشرط التوازن  
أن يكون مركز ثقل الجسم ونقطة التعليق موجودين معا على مستقيم رأسي  
واحد ومتى اريد تعليق جسم في وضع معين لزم أن نتوهم مستقيما رأسيا مارا  
بمركز ثقل ذلك الجسم ونضع نقطة الارتباط على الرأسى المذكور وسيأتى لك  
في الدرس الذى نتكلم فيه على وضع مراكز ثقل المربع والمستطيل والمعين  
والدائرة والقطع الناقص ونحوها ان البراويراتى تعلق فى البيوت وتكون  
على شكل من هذه الاشكال لها نقطتا تعليق وارتباط موضوعتان مع مركز  
ثقلها على مستقيم رأسي واحد ومن هذا القبيل النجفات المعلقة فى قباب  
الكائنات وسقوف المقاعد والدلاء المربوطة بالحبال لاعتراف الماء والنزول  
فى المعادن

وبالجمله فعرفة وضع مركز الثقل عمالابد منه للعنائعية سواء وضعوا اجساما



ساكنة في وضع معلوم او يبروها على مستقيم واحد بدون دوران او منعوا  
تحرك الاجسام التي تسير بهذه المثابة

ثم ان جسم الانسان له مركز ثقل كغيره من الاجسام الا ان هذا المركز  
يتغير وضعه متى تحرك الانسان عضوا من اعضائه او حمل شيئا واذلك لان  
الحامل والمحمول معا يعتبر لهما مركز ثقل واحد متمز به محصلة ثقله وثقل حمله

فاذا وقف الانسان مع الاعتدال والاستقامة الثابتة (شكل ٩)  
(وشكل ١٠) امكن أن نعتبر انخصيه كنه قطعي وقوع القوى المتوازية  
المؤثرة من اسفل الى اعلا والدالة على قوة مقاومة الارض التي يكون بها  
هذا الانسان وجميع قوى المقاومة محصلة واحدة رأسية واقعة على نقطة  
معلومة كنقطة أ

ولاجل توازن ذلك يلزم أن تكون المحصلة مارة بنقطة ب التي هي مركز  
ثقل الجسم الانساني لان هذا الجسم بدون ذلك يكون مجذوبا الى الجهة  
التي يكون بها مركز ثقله ويكون محقق الوقوع مالم يبادر بتوصيل هذا المركز  
الى وضع محصلة قوى المقاومة الرأسي بأن يميل ببعض اعضائه الى الجهة المقابلة  
لجهة السقوط

فاذن يلزم ان مركز ثقل الجسم الانساني يُعتبر كأنه يتغير في كل وقت تقريبا  
بالتحركات التي تستدعيها حاجة الانسان او حفظه

ومن المهم في الفنون المستطرفة وفي كثير من فروع الصناعة معرفة الاوضاع  
المتنوعة التي يمكن أن يأخذها مركز ثقل الانسان

فينبغي للمصوئين والنقاشين أن يعرفوا هذه الاوضاع معرفة كافية  
حتى لا يصنعوا اشكالها في وضع فاسد اي في وضع لا يمكن للانسان  
أن يقف فيه مع الاستقامة بدون أن يسقط ولا شد أن هذا العيب كاف  
في الاخلال بجودة الصفاة وضياع انتظام الفنون المستطرفة

فاذا فرض ان بعض المصوئين رسم صورة انسان حامل على ظهره  
(شكل ١١) جلا كبيرا وجعله في وضع نام الاستقامة كان ذلك

مخالف للقوانين الميكانيكية والحقيقة الرصد (وقدر منافي جميع ما يأتي من العبارات والاشكال بحرف غ الى مركز ثقل الجسم الانساني وبحرف غ الى مركز ثقل الحامل والمحمول معاً) وبالجمله فالتوازن يقتضي ان نقطة غ التي هي مركز الحامل والمحمول الاعتبارين بجسم واحد تكون على المستقيم الرأسى الحادث عن اخص الانسان لاجل المقاومة لكن اذا كان الانسان معطلا وكان مركز الثقل يميل الى جهة الخلف حتى يخرج عن المسافة المشغولة باخصى الرجلين فانه حينئذ يقع هو ومحموله الى جهة الخلف

وللعناله معرفة تامه بهذه الفائدة الميكانيكية فانه بمجرد ما يضع الرجل على ظهره يشرع في امالة الجزء الاعلى من جسمه الى الامام كما تراه في (شكل ١٢) ليكون مركز الثقل المشترك بين الجسم والرجل على مستقيم رأسى لائق فاذا كان الرجل ياقبعا على ثقله فانه كلما كان مركز ثقله بعيدا عن مركز ثقل جسم الحامل كان المركز المشترك بينهما مائلا الى الخلف وكان العتال مجبورا على أن يميل الى الامام ولا يزال كذلك حتى ينتهي امره الى اخذ وضع متعب وربما تعذر اذا كان الرجل عظيم الحجم كما تقدم في (شكل ١٢)

فاذا كان الجسم مسطحا من جهة وغريضا من اخرى فان العتال يستند بالجهة المسطحة على ظهره ويتقل حينئذ مركز ثقل الرجل الى الامام مهما امكن وبذلك يمكنه عند حمل ثقل معلوم أن يميل قليلا بقدر الامكان ليكون متوازنا مع الرجل

ومن الاثقال التي لاتعد خفيفة جرن بندقية العسكرى التي يحملها على ظهره وقد كانت الجرن بندقيات القديمة المهذبة بالكلية ينشأ عنها ضرر كالضرر الناشئ عن الحمل المذكور في (شكل ١٢) فكان مركز ثقلها مائلا الى الخلف بالكلية فبذلك كان الراجل مجبورا على أن يكون الجزء الاعلى من جسمه مائلا الى الامام بالكلية حال السير وكان ذلك بموجب قوانين صعبة صادرة عن اوامر غوطية فلما تفكروا في خواص مراكز الثقل ادركوا فائدتها

وصنعوا للعساكر جربنديات عريضة ومسطحة (شكل ١٣) مركز  
تظهر اعيل الى الخلف قليلا اذا حملها العساكر على ظهره من جهتها  
العريضة وهذا التخفيف الضروري معدود من العمليات السهلة المتعلقة  
بقضية مركز النقل النظرية وكان العساكر قبل عمل هذه الجربنديات  
يقربون يحملون على ظهورهم مع المشقة جربنديات ردة الشكل

وقد ينشأ عن الحمل الموضوع في جهة الامام تأثير مضاييجير الحامل على الميل  
الى جهة الخلف لاجل أن يحفظ التوازن على قدميه مالم يقصد وضعه لا تمكن  
الاقامة به بدون أن يكون عرضة للسقوط (شكل ١٤)

فانظر الى بائعة السمك (الافرنجية) مثلا (شكل ١٥) فانك تجد حالتها  
المربوطة بالأربطة معلقة أمامها تعليقا اقويا وراها عند الوقوف على غاية  
من الاعتدال الآن اعلى جسمها يكون مائلا مع رأسها الى جهة الخلف  
ولما كانت في الغالب تستند يديها على خذنها كان ذراعاها ايضا مائلين الى  
تلك الجهة وهذه العادة وان كانت جارفة في الناس لتصد حيازة الهيبة والوقار  
الان هذه المرأة لم تكن تفعلها الا ليكون مركز ثقل جسمها وذراعيها مائلا  
الى خلف بقدر الامكان لتوازن حملها

وكذلك الحبلبي (شكل ١٨) فانها اذا اعظم حملها وثقل تكون مجبورة  
بكائنة السمك على امالة اعلى جسمها الى خلف ولو حرت العادة بانها حال المشي  
تستند يديها على خذنها حتى يكون ذراعاها مائلين الى خلف لكانت  
في الغالب تمشي مشيا قويا

وكذلك من تجاو زوا الحد في الغلط (شكل ١٧) فانهم مجبورون  
على الاستقامة والاعتدال على الوجه الذي عليه السماكة والحبلبي  
واذا اريد امالة ثقل جسم الى جهة الامام لزم تقديم الأرجل كثيرا نحو تلك  
الجهة وامالة منتصف الجسم الى جهة الخلف بالكلية ليكون مركز الثقل  
مائلا الى خلف بقدر الامكان (شكل ١٦)

وقد ذكر حنايا كس رسو أن النساء لا يعرفن كيفية الجري وانهم يمدون

في تلك الحالة أذرعهم إلى خلف لأنهم عند الجري يملن بأعلى جسمهم إلى الامام  
بالكافية وذلك يستلزم استعمال الأذرع المتقدم لأجل التوازن

فإذا كان السقاء (الافرنجي) يحمل بأحدى يديه دلوا واحدا (شكل ٢٠)  
فإن مركز ثقل الحامل والمحمول لا يكون مائلا إلى جهة الخلف ولا إلى جهة  
الامام كما في الصور المتقدمة وإنما يكون مائلا إلى جهة غيرهما وحينئذ يلزمه  
أن يميل إلى الجهة المقابلة لتلك الجهة وذلك يوجب التعب دائما ومن هذا  
القبيل أيضا الموضع التي تحمل الطفل على إحدى ذراعيها (شكل ١٩)

ومثل هذه المشاق الخالية عن الجدوى ينبغي اجتنابها واستبدالها بكيفية أخرى  
بأن يجعل الإنسان ما يحمله على جزئين متقابلين من جسمه بالسوية فيحمل  
السقاء مثلا دلوين (شكل ٢٢) والموضع لطيفين متساويين في الثقل  
(شكل ٢١)

وتم نساء ضعيفات يحملن على رؤسهن مع السهولة انتقالا جسيمة (شكل ٢٣)  
بحيث يكون مركز ثقل الحمل في الوضع الرأسي مع مركز ثقل الجسم فيكون  
مركز ثقل الحامل والمحمول مرتفعا لكنه يكون دائما على رأسي واحد فإذا ن  
لا تحتاج المرأة الحالة إلى الميل من أي جهة كانت لأجل حفظ توازن وضعها  
الطبيعي

وأول ما اخترعه الناس من المخترعات الميكانيكية بعد أن كانت اشغالهم  
لأطائل تحتها هو الخرج الذي له جهة واحدة أو جهتان متساويتان وهو  
مشقوب من وسطه ليدخل به الجاني رأسه (شكل ٢٤) فإذا جى الخراج  
وضعه في جهتي الخرج القدامية والخلفية حتى تمتلا بالسوية بحيث لا يغير  
مركز ثقل الحامل والمحمول وضعه الرأسي بل يبقى عليه دائما وحينئذ فيمكن  
في استعمال الخرج المذكور أن يوضع في جهتيه بدون مشقة حمل عظيم

فإذا فرضنا أن إنسانا وقف على رجله مع الاعتدال ثم رفع أحدهما على حين  
غطه وصار واقعا على رجل واحدة فإن بقي جسمه على اعتداله فلا شك أنه يقع  
من جهة الرجل المرفوعة فيلزمه لأجل منع هذا الوقوع أن يميل بجسمه قليلا

الى جهة الرجل الثابتة في الارض بحيث يكون مركز الثقل موضوعا على  
المستقيم الرأسى المارة بالجزء المشغول بهذه الرجل من الارض  
فمن ثم كان الناس في حال المشى يميلون قليلا بدون ان شعرا الى جهتي اليمين والشمال  
بالتعاقب على حسب ارتفاع الرجل اليمنى او اليسرى ( شكل ٢٥ )  
وقد يكون هذا التحرك المتعاقب محسوسا للانسان بالكلية اذا وقف أمام بلوك  
من العساكر سائر على صف واحد بالتساوى وذلك لانه يرى ان هذا البلوك  
يميل ذات اليمين وذات الشمال عند نقل كل خطوة مع غاية الانتظام والاتحاد  
في السير

فيكون هذا التحرك الخفيف الحاصل ذات اليمين وذات الشمال الذي ينشأ عنه  
وضع مركز الثقل الثابت في غاية الصعوبة والمشقة على شخصين كل منهما  
قايض على ذراع صاحبه وماش مع النشاط والخفة مالم يسيرا على مهل معا  
فان مركز ثقل احدهما بدون ذلك يكاد يقع جهة الشمال فتحقيقا متى كاد  
مركز ثقل الاخر يقع جهة اليمين وبناء على ذلك اذا كانت رجلاهما الداختان  
موضوعتين على الارض فان هذين الشخصين يتصادمان او يتدافعان  
واما في صورة العكس وهي ما اذا كانت رجلاهما الخارجتان على الارض  
فانهما يتجاذبان ويكادان أن يتصلا عن بعضهما وبذلك يكون ذراعاهما  
في غاية التعب

وقد ترتب على ما ذكرناه من الادلة في شأن العساكر المشاة الذين يلزمهم بموجب  
الترتيب الجارى الآن أن يسيروا مع قماش اذرعهم بعضها البعض منفعة عظيمة  
وهي جبر جميع الناس المتناسين على أن يسيروا معا قدم باقدهم لانه بدون ذلك  
لا يمكن استمرار اذرعهم على المعاسة حيث انه اذا مال انسان منهم بجسمه  
الى الجهة اليمنى مال الاخر بجسمه الى اليسرى فيختل صفهم وتفرق جمعيتهم  
ولاجل حصول الانتظام والاتحاد في جميع الحركات بمجرد الشروع في السير  
يجب على العساكر جميعا أن يبدؤا بتمرير رجل واحدة وهي اليسرى حسبما هو  
متفق عليه ومن هنا تعلم ان الباعث لهم على نقل رجل واحدة عند السير المنتظم

من متعلقات قضية مركز الثقل النظرية

هذا ويظهر في فن الرقص من تطبيقات هذه القضية وعلاياتها ما هو أكثر تنوعاً من السير وليس هذا محل البحث عن دروس معلى الرقص الرموزى او غيره من انواع الرقص حتى نتعرض فيه لذكر هذه التطبيقات لكن حيث اتنا بصدد الكلام على قاعدة التحرك وهو موجود في السير والرقص والتمرن على النط والوثوب حتى أن نتكلم هنا على التطبيقات المذكورة فنقول

اذا فرض ان الراقص او الهلوان رفع رجله اليمنى من الجهة اليمنى مثلاً ووجب عليه في الحال أن يميل جزءاً من جسمه الى الجهة المقابلة لتلك الجهة حفظاً للتوازن لكن حيث كان يلزم أن تتحركت الجسم تكون صغيرة مهما امكن ليكون ما يبذل في ذلك من الجهد قليلاً غير ظاهر مع السهولة والخفة لزم أن يمد الراقص او الهلوان ذراعه اليسرى الى الجهة اليسرى فاذا كثرت الرجل اليمنى متأخرة الى خلف لزم أن يكون الذراع اليسرى متقدماً الى أمام فيكون على صورة مرکور (اي عطارد) الطيلد اللطيفة (شكل ٢٦) وعلى صورة رنوميه ايضاً (اي الشهرة)

واما مقابلة تحركات الاذرع بتحركات الرجل لحفظ مركز الثقل على رأسى واحد فذلك مما لا بد منه انطاطى الحبال الذين يتطون بلاميزان معهم فيكون التحرك حينئذ محسوساً ما احدا والغرض الاصلى من الميزان المذكور هو تحويل مركز ثقل الجسم والميزان معاً على رأسى ما بالحبل

وكثيراً ما عاينت اناساً يمشون مع العجلة ويوزون اذرعهم بكثرة ويطرحونها الى اى جهة من الجهات عوضاً عن كونهم يطرحونها الى الخلف او الى الامام كما هي عادة معظم الناس \* و بموجب الملاحظات المقررة في شأن الطريقة التى يكون فيها مركز الثقل مائلاً في كل خطوة الى جهة الرجل النابتة على الارض يرى أن الاذرع تميل بواسطة التحرك الطبيعى الى جهة الرجل المرتفعة لاجل تحويل مركز الثقل الى اتجاه السير فهو لاء الناس الذين يراعون هذه الملاحظات يكونون في مشيهم اكثر استقامة واعتدالاً من الاول

ثم ان مراعاة مركز الثقل هي من اهم الاشياء في فن ضرب الشيش فاذا كان ثقل الجسم مائلا كما هو العادة الى الرجل اليسرى المتأخرة الى خلف لزم أن يكون مركز ثقل الجسم موضوعا على مستقيم رأسي مارداً تماماً بالرجل المذكورة وهذا بعينه هو الذي يجبر الانسان على أن يميل كثيراً باعلا جسمه الى خلف ويمتد به اليسرى الى تلك الجهة لاجل توازن الذراع الايمن والساق الايمن المتقدمين الى أمام وبالجملة فادنى ضربة من الشيش المعد للتعليم تقلب الضارب اذا كان مركز ثقله مائلا جداً الى خلف وفي صورة العكس وهي ما اذا كان المركز المذكور مائلا الى الامام يحصل للضارب تعب عظيم متى مال بجسمه الى خلف وربما كان عرضة للخطر بيطي هذا التحرك

وسياتى في الدرس الذي تكلمنا فيه على تحرك الدوران ان مراكز الثقل لها تأثير مهم في التحرك لذلك ذكرنا ان لها تأثيراً مهماً في التحرك المستقيم

### \*(الدرس الرابع)\*

\*(في بيان مراكز ثقل الآلات ومجسولات الصناعة وفي كمية القوى)\*

اعلم ان ما سلفناه من الامثلة في الدرس المتقدم يكفي دليلاً على ان من اهم الاشياء في كثير من الفنون والصنائع تعيين الوضع الحقيقي لمركز ثقل كثير من الاجسام المتنوعة الشكل وكذلك تعيين مركز ثقل الاجزاء الثابتة والاجزاء المتحركة من سائر الآلات

فاذا وسقت عربة ذات عجلين فلا بد أن لا يكون ثقل الحمل موضوعاً أمام المحور ولا خلفه لانه في الصورة الاولى ان لم تلتف العربة من الحمل يلحقها مشقة عظيمة بدون أن ينقص شيء من الجهد والتعب اللازم لجلب العربة وفي الصورة الثانية يكون ثقل المؤخر اعظم من ثقل المتقدم فان لم تضطرب العربة بذلك وتزلزل ارتفع العرس وصار بعيداً عن الارض وربما ترتب على هذا الجهد والمشقة خطر عظيم عند الصعود على جانب جبل مخدر انحداراً بينا

ولا بد في عمارة السفن وانتظام وسقها وتصيرها ولوازمها وادواتها من حساب وضع مركز ثقل كل جزء من السفينة وكل شيء احتوت عليه لاجل معرفة

مرکز ثقل الجميع ولاجل التحقق من استيفائها لشروط التوازن والثبات كما سيأتى (في الجزء الثالث عند ذكر القوى المتحركة)  
 فإذا كان ثقلان متساويان ومعتبران كنقطتين ماديتين مربوطين بطرفي قضيب غير لين وفرضنا أنه لا تماثل له فإن مرکز ثقل مجموعهما يكون في منتصف المستقيم

ونقطة  $\overline{غ}$  التي هي مرکز ثقل مستقيم ثقيل كـ  $\overline{مستقيم}$   $\overline{أب}$  (شكل ١) المبين بسلك معدنى متحد السمك في جميع جهاته موضوعة في منتصف طول هذا المستقيم لأنه إذا علق من منتصفه فلا داعي لأن تكون إحدى جهتيه أرفع من الأخرى بل يكون التوازن باقيا على حالة واحدة مهما كان ميل هذا المستقيم والنقطة التي يكون هذا التوازن الثابت باصلا حولها هي مركز ثقل المستقيم المذكور

فلا يخفى أنه إذا وضع منتصف قضيب افقى متحد السمك في جميع طوله على طرف أصبع أو على طرف شئ ما فإنه يكون متوازنا وكذلك إذا علق من منتصفه وسيأتى عند الكلام على الرافعة أن توازن الميزان من جملة تطبيقات هذه القاعدة

وانفرض الآن أن المطلوب مركز ثقل مجموع مستقيمي  $\overline{أب}$  و  $\overline{ش د}$  (شكل ٢) المنتظمي التماثل في جميع طولهما بحيث تكون أطوالهما دالة على تثليهما

فيمكن أن نعتبر أن ثقل مستقيم  $\overline{أب}$  محصور في منتصفه وهو نقطة  $\overline{هـ}$  وثقل  $\overline{ش د}$  محصور أيضا في منتصفه وهو نقطة  $\overline{ف}$

فيحدث بذلك قوتان متوازيتان أحدهما واقعة على  $\overline{هـ}$  والأخرى على  $\overline{ف}$  وكتاهما يدل عليه  $\overline{أب}$  و  $\overline{ش د}$  فتكون محصلتهما مدلولاً عليهما بمجموع  $\overline{أب} + \overline{ش د}$  وتكون نقطة وقوعها وهي  $\overline{ش}$  على مستقيم  $\overline{هـ ف}$  مبنية بهذا التناسب وهو

$$\overline{أب} : \overline{ش د} :: \overline{ش ف} : \overline{ش هـ}$$



الذي يمكن وضعه بهذه الصورة

أب + شد : أب :: ش ف + ش ه : ا د ه ف : ش ف  
ويفتح من ذلك ان

$$\frac{\text{أب} \times \text{ف ه}}{\text{أب} + \text{شد}} = \text{ش ف}$$

وبذلك يعلم مقدار الحد الرابع من هذا التناسب ( كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة )

ويسهل بالقاعدة التي ذكرناها اقامة معرفة مركز ثقل ما يراد من المستقيم الثقيلة وذلك بأخذ هاشني فاذا كان المطلوب ثلاث تحصيل مركز ثقل مستقيم متألفا منها كثير اضلاع مستقيم مثل أب شد ( شكل ٣ ) فانك تأخذ نقط تصيف اضلاع أب و بث و شد الخ وهي ا و ب و ث الخ فبواسطة القاعدة المتقدمة تجد على مستقيم أب نقطة س وهي مركز ثقل مستقيمي أب و بث واذا مددت مستقيم س و ث واعتبرت ان ثقل مستقيمي أب و بث محصور في نقطة س التي هي مركز ثقلهما كانت نقطة ص مركز ثقل أب + بث و شد فجد ايضا ان نقطة ز مركز ثقل أب + بث + شد و دا فتكون هذه النقطة مركز ثقل المستقيم الاربعة وهي أب و بث و شد و دا

ومما يقع التلامذة تمرنهم على عمل كثير الاضلاع مثل أب شد الخ من سلك حديد يربطون به خيوطا من حرير كخيوط ا و س و ث و ص الخ فيجدون وضع مركز ثقل كثير الاضلاع المذكور على غاية من الضبط ثم يعلقون هذا الشكل بخيط جديد على التوالي من نقطة ا ومن نقطة ب ومن نقطة ث وهكذا فيرون أن الشاقول الموضوع بجوار خيط التطبيق يمر دائما بمركز ثقل كثير الاضلاع المذكور فينتصرون حينئذ بالتجربة خاصية مراكز الثقل تصورا وانحاما مهلا وهذا التمرين يعرفون عملية مفيدة جدا

ويجبرون

ويجبون على ممارسة القواعد الهندسية المقررة في شأن المستقيمات المناسبة  
( كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة )

وقد بسطنا الكلام في الجزء المتعلق بالهندسة على شكل الخطوط المتماثلة  
والسطوح المتماثلة والججوم المتماثلة وخواصها \* ولاهتمام بتماثل الاشكال من  
اعظم ما يكون عند الميكانيكي والمهندس وان كان الصانعية لا يهتمون  
بهذا الغرض

وليكن كما في ( شكل ٤ ) شكل ا ب ث د ه ذ ث ب ا مثلا متماثلا  
بالنسبة لمحور ا ه ولتكن نقطة غ مركز ثقل محيط ا ب ث د ه  
الموضوع على شمال محور التماثل

فاذا تيسا جزء الشمال على جزء اليمين فانهما ينطبقان على بعضهما انطباقا تاما  
وحيث انهما لا يختلفان لافي المقدار ولا في الصورة ولا في الوضع لزم أن يكون  
مركز ثقلهما موجودا في نقطة واحدة فاذا ن تكون نقطة غ التي هي مركز  
ثقل ا ب ث د ه في وضع متماثل بالنسبة لنقطة غ بمعنى ان غ و غ  
يكونان على بعد واحد من المحور ووضوعين على مستقيم غ غ العمودي  
على هذا المحور وحيث ان محيطي ا ب ث د ه و ا ب ث د ه  
المتماثلين متساويان في الثقل كانا مدلولاً عليهما بقوتين متساويتين احدهما  
واقعة على غ والاخرى على غ وكانت محصلتهما المساوية لمجموعهما  
واقعة على منتصف مستقيم غ غ اعنى في نقطة ح على محور التماثل  
فاذا ثبت المطلوب

ومركز ثقل اى خط متماثل يكون بالضرورة موضوعا على محور التماثل  
ولتنبه على ان المسطح المستوي المنتهى بمحيط متماثل يكون متماثلا بالنسبة  
للمحور المتقدم كالمحيط المذكور

ويمكن أن يفرض أن هذا المحيط ينتهى به السطح المستوي الثقيل في جميع  
جهاته كفرخ من ورق اولوح من معدن فاذا كانت قطعتا غ و غ  
دالتين على مركزى ثقل المسطحين الموضوعين على يمين محور التماثل وشماله

فان مستقيم  $\overline{غ غ}$  يكون عمودا دائما في نقطة  $\overline{غ}$  على المحور ويكون  
 $\overline{غ غ} = \overline{غ غ}$  فاذن يكون مركز ثقل كل سطح مستو متماثل  
 موضوعا على محور التماثل واذا علق في نقطة من المحور براوير ذات شكل مائل  
 متماثل فان محور التماثل يكون موجودا دائما في وضع رأسي وبالجملة فتقل  
 الشكل المذكور يكون مؤثرا كالمالو كان محصورا كله في مركز الثقل وزيادة  
 على ذلك يكون اتجاه هذه القوة الرأسي مارتا فرضا بنقطة التعليق والارتباط  
 الثابتة فاذن تعدد القوة بالمانع المذكور (وهو التعليق) وعليه فيكون  
 البرواز متوازنا

والمنازل الأفرنجية مزخرفة بكثير من البراويز المتماثلة ايا ما كان شكلها  
 ونقطة تعليقها موضوعة على محور التماثل لانه ان لم يكن وضعها بهذه المثابة  
 كانت قبيحة المنظر

ولندكر هنا بعض امثلة سهلة لاجل ايضاح الملاحظات العامة التي املفناها  
 ونرمز بحرف  $\overline{غ}$  في جميع الاشكال الاتية الى مركز الثقل فنقول

ان  $\overline{غ}$  الذي هو مركز ثقل المحيط او سطح البرواز المثلي التماثل مثل  
 $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٥) يكون موضوعا على رأسي مارتا بنقطة  $\overline{آ}$  التي هي

رأس مثلث  $\overline{ا ب ث}$  وبمنتصف قاعدته وهي  $\overline{ب ث}$  فاذا علق هذا  
 البرواز من نقطة  $\overline{آ}$  التي هي رأس ذلك المثلث (شكل ٥) او من نقطة

$\overline{د}$  التي هي منتصف قاعدته وهي  $\overline{ب ث}$  (شكل ٦) وكانت هاتان  
 النقطتان موضوعتين على محور التماثل فان وضع توازن البرواز المذكور

يكون عين الوضع الذي يصير فيه محور  $\overline{آ د}$  رأسيا واذا علق برواز على شكل  
 شبه المنحرف التماثل وهو  $\overline{ا ب ث د}$  وكان تعليقه أولا من نقطة  $\overline{ه}$

التي هي منتصف قاعدته الصغرى وهي  $\overline{ا ب د}$  كما في (شكل ٧) وثانيا  
 من نقطة  $\overline{ف}$  التي هي منتصف قاعدته الكبرى وهي  $\overline{ب ث د}$

كما في (شكل ٨) فان التوازن يستلزم أن محور التماثل وهو  $\overline{ه ف}$   
 المحمى على  $\overline{غ}$  التي هي مركز ثقل المحيط ومركز ثقل سطح شبه المنحرف

يكون موجودا في وضع رأسي

وما ذكرناه من البرهنة على أن مركز ثقل المحيط المستوي والمسطح المستوي التماثلين بالنسبة لمحور ما يكون موضوعا بالضرورة على هذا المحور يجري أيضا في الأشكال المنتهية بخطوط مستقيمة أو منحنية ومن هنا تحدث الدعاوى الآتية وهي

كل قوس كقوس دائرة أ ب ث (شكل ٩) يكون متماثلا بالنسبة لنصف القطر وهو و ب المار بمنتصف هذا القوس فإذا ن تكون نقطة غ التي هي مركز ثقل المحيط أو سطح قوس الدائرة المذكور موضوعة على نصف قطر و ب وبناء على ذلك إذا علق قوس دائرة أ ب ث من منتصفه وهو ب كان طرفاه وهما أ و ث على أفق واحد ومتوازيين (وينبغي التنبيه على أنه لا يكون لمركز الثقل في قوس الدائرة ولا في شبه المنحرف وضع كوضع مركز سطحهما)

ويجري ذلك في مسطح قطع أ ب ث وفي مسطح قطاع و أ ب ث وإذا انعكس الشكل حدث وضع ثان للتوازن (شكل ١٠) فإذا كانت نقطة التعليق دائما على نصف قطر و ب فإنه يكون في هذه الصورة كالتي قبلها بإقيا على وضعه الرأسي

وحيث أن القطع المكافئ والقطع الزائد متماثلان بالنسبة للمحور المار برأسيهما فإذا أخذ بالابتداء من رأس ب التي هي أحد رأسي هذين المنحنيين (شكل ١١) جزأ ب أ و ب ث المتساويان من هذا المنحنى فإن مركز ثقله يكون على المحور فإذا علق حيثئذ هذا المنحنى من رأسه وهو ب فإنه يكون متوازنا متى كان محور ب د نابعا لاتجاه رأسي

وهناك أشكال لها محورا تماثلي مثل أ ب و ث د كالمستطيلات (شكل ١٢ و ١٣) والمعينات (شكل ١٤ و ١٥) ففي هذه الأشكال يكون مركز الثقل وهو غ الذي يلزم أن يكون موجودا على كل من محوري التماثل في نقطة غ المشتركة بينهما أعني في مركز التماثل

فاذن يكون مركز نقل المحيطات والمسطحات المتماثلة بالنسبة لمحورين موجودا في نقطة تقاطع هذين المحورين اعني في مركز التماثل  
والاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلها متماثلة بالنسبة لعدة محاور ويظهر من ذلك كثير من نقط التعليق المتماثلة المتنوعة بقدر ما يوجد من محاور التماثل  
فاذن يكون مركز نقل المحيط ومركز نقل الاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلاهما موضوع في مركز نقل تماثل الاشكال الكثيرة الاضلاع المذكورة  
والقطع الناقص متماثل (شكل ١٦ و ١٧) بالنسبة لمحوريه وهما  $\overline{AB}$  و  $\overline{CD}$  فاذن تكون نقطة  $\overline{X}$  التي هي مركز نقل محيط انقطع الناقص المذكور ومسطحه موجودة في مركز تماثل هذا المنحنى  
والدائرة (شكل ١٨) متماثلة بالنسبة لكل من قطريها وهما  $\overline{AB}$  و  $\overline{CD}$  وعليه فيكون مركز نقل المحيط ومسطح الدائرة موجودا في مركز الدائرة  
وفي اي نقطة من محيط برواز كثير الاضلاع منتظم او محيط قطع ناقص او محيط مستدير متعلق به هذا البرواز يكون مركز التماثل دائما في وضع رأسي مع نقطة التعليق

\*(بيان مركز نقل السطوح)\*

لاجل تعيين وضع هذا المركز يفرض أن السطوح كافرغ من الورق او الواح من المعدن رقيقة جدا ومتعدة السمك في جميع جهاتها وثقيلة السطح

\*(بيان مركز نقل المثلث)\*

اذا كان المطلوب تحصيل مركز نقل سطح مثلث كمثلث  $\overline{ABC}$  (شكل ١٩) فان هذا المثلث يقسم الى عدة قضبان متوازية ومتقاربة من بعضها جدا بحيث يمكن اعتبارها كاستقيمات ثقيلة فيكون مركز نقلها موجودا على مستقيم  $\overline{AH}$  الذي يقطعها كلها من منتصفها بموجب خاصية الخطوط المتناسبة فاذن يكون مركز مجموعها وهو  $\overline{X}$  اعني مركز المثلث الكلي على مستقيم  $\overline{AH}$  الواصل من  $\overline{A}$  الى منتصف  $\overline{BC}$  وبمثل ذلك يبرهن على انه يكون موجودا على  $\overline{BF}$  وعلى  $\overline{CK}$  الواصلين من  $\overline{B}$  ومن  $\overline{C}$  الى

متصفي  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  فاذن يكون مركز ثقل المثلث موجودا في نقطة  $\overline{غ}$  المشتركة بين خطوط  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  الثلاثة ولكن حيث ان تقطعي  $\overline{ك}$  و  $\overline{ه}$  موجودتان في منتصف  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  فان مستقيم  $\overline{ك\ه}$  يكون موازيا لمستقيم  $\overline{ا\theta}$  فيحدث حينئذ عن هذه الخطوط (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة) هذا التناسب  
 $١ : ٢ :: \overline{ا\beta} : \overline{ا\gamma} :: \overline{ك\ه} : \overline{ا\theta} :: \overline{ه\gamma} : \overline{ا\gamma}$   
 فاذن يكون  $\overline{ه\gamma} = \frac{١}{٢} \overline{ا\gamma}$  و  $\overline{ه\gamma} = \frac{١}{٢} \overline{ا\theta}$   
 وبناء على ذلك يكون مركز ثقل المثلث موضوعا أولا على المستقيم الواصل من رأسه الى منتصف قاعدته وثانيا في ثلث هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة

\* (بيان مركز ثقل ذي اربعة الاضلاع وهو  $\overline{ا\beta\gamma\delta}$ ) \*

اذا اريد تحصيل هذا المركز (شكل ٢٠) عين من مبداء الامر مركزا مثليا  $\overline{ا\beta\theta}$  و  $\overline{ا\delta\theta}$  وذلك بايصال  $\overline{ه\beta}$  و  $\overline{ه\delta}$  الى منتصف  $\overline{ا\theta}$  واخذ  $\overline{ه\omega} = \frac{١}{٢} \overline{ه\beta}$  و  $\overline{ه\omega} = \frac{١}{٢} \overline{ه\delta}$  ثم اذا وصل كل من تقطعي  $\overline{و}$  و  $\overline{و}$  بمستقيم  $\overline{و\omega}$  فحدث محصلة  $\overline{و\omega} = \overline{ا\beta\theta}$  و  $\overline{ا\delta\theta}$  الواقعين على تقطعي  $\overline{و}$  و  $\overline{و}$  فاذن تكون نقطة  $\overline{غ}$  التي هي نقطة وقوع المحصلة مركز ثقل الشكل ذي اربعة الاضلاع المذكور ومن السهل تحصيل مركز ثقل الاشكال ذوات اربعة الاضلاع التي بها نوع انتظام

وفي شبه المنحرف وهو  $\overline{ا\beta\gamma\delta}$  مثلا (شكل ٢٢) يكون مركز الثقل وهو  $\overline{غ}$  موجودا على مستقيم  $\overline{ه\omega}$  الذي يقسم جميع المستقيمتين الموازيين للقاعدتين الى اجزاء متساوية ومركز ثقل سطوح متوازي الاضلاع والمعين والمستطيل والمربع يكون في نقطة تقاطع انطارها كما تقدم في (شكل ٢١) و (شكل ١٤ و ١٥) وغيرها

وذلك لان كل قطر يقسم هذه الاشكال الى مثلثين متساويين والقطر الثاني  
القاطع للاول من منتصفه يحتوى على مركزى ثقل هذين المثلثين فاذن يكون  
مركز ثقل كل من الاشكال المذكورة موجودا على القطر الثاني وبمثل ذلك  
يبرهن ايضا على انه يكون موجودا على الاول فاذن يكون موجودا على كل  
من القطرين المذكورين وبناء على ذلك يكون موجودا في نقطة تقاطعهما  
فاذا قسم اى سطح متماثل مستويا كان او منحنيا (شكل ٤) بقضبان  
متوازية وعمودية على محور التماثل فان مركز ثقل كل قضيب يكون موجودا  
على مستوى التماثل او محوره فاذن يكون مركز ثقل السعة التماثلة موجودا  
على مستوى التماثل او محوره

ومتى كان لسعة محورا او مستويا تماثل فان مركز ثقلها يكون في نقطة تقاطع  
المحورين المذكورين التى هى مركز الشكل

وبناء على ذلك يكون مركز الثقل في السعات المستوية التى لها محورا تماثل  
موجودا في مركز التماثل كما تقدم اثبات ذلك في الكلام على المحيطات التماثلة  
ولنشرع الآن في ذكر السعات والسطوح المنحنية فنقول

ان السطح المنحنى او المركب من عدة مستويات يكون تماثلا بالنسبة لمحور  
متى كان لكل قطع حادث من السطح عمودى على هذا المحور مركز تماثل موضوع  
على المحور المذكور وكذلك يكون الجسم المحدد بالسطح التماثل تماثلا بالنسبة  
لهذا المحور

فاذا فعل في السطح او الجسم عدة قطوع عمودية على المحور وقريبة من بعضها  
قربا كليا فانه يمكن اعتبار قطوع ذلك الجسم كسطوح بسيطة ثقيلة مركز تماثلها  
موضوع على المحور المذكور وحينئذ فتكون بمصلة ثقلها موضوعة عليه  
وتكون محصلات هذه القطوع مارة كلها بالمحور المفروض رأسا فاذن تكون  
المحصلة الكلية متجهة على هذا المحور وبالجملة فتكون مراكز ثقل الاجسام  
والسطوح المنحنية التماثلة بالنسبة لمحور موضوعة على محور التماثل المذكور  
ومتى كان الجسم محورا تماثل كان له مركز تماثل موجود على هذين المحورين

وهذا المركز يكون ايضا مركز ثقل السطح او الجسم  
ويظهر لنا من الفنون كثير من الاشكال التي لها محاور تماثل كسائر سطوح  
الدوران فانها متى علفت من نقطة من محورها كان وضع توازن السطح او الجسم  
عين الوضع الذي يكون به المحور رأسيا

والنصف المعلقة بجبل او سلسلة في البيوت والسراريات والهياكل متماثلة دائما  
بالنسبة للمحور وذلك ان النجفة تكون مربوطة في نقطة ما من قطع هذا المحور  
ويكون للمحور المذكور في وضع التوازن وضع رأسي ومن هذا القبيل شاقول  
أب (شكل ١٨ مكرر) فان ثقله وهو ب جسم متماثل بالنسبة  
للمحور مربوط به خيطه

وليس كون المحور رأسيا مقصورا على الحالة التي تكون فيها النجفة ساكنة  
بل يكون كذلك في صورتين ايضا احدهما اذا كانت النجفة هابطة او مساعدة  
وسركت نقطة ارتباطها بمحور كالأسيان والثانية اذا كانت تدور على نفسها فتكون  
حيث تدور باقية على وضعها الرأسي مالم يعرض لها اصطدام تميل به من احدى  
جهااتها

ومن هذا القبيل ايضا الشاقول وتلك الخاصة يتحقق العمل  
وساقي ان الصناعة اكتسبت عدة عمليات عظيمة من خاصية محاور التماثل  
وهي احتواء هذه المحاور على مركز ثقل الاجسام ولذا كره قبل التوغل  
في ذلك خواص اخرى مهمة جدا تتعلق بالقوى المتوازية وبمراكز الثقل  
فنقول

\*(بيان مقادير القوى المتوازية)\*

متى كان لقوتى  $S$  و  $V$  (شكل ٢٤) المتوازيين الواقعتين  
على نقطتي  $A$  و  $B$  من مستقيم  $AB$  محصلة كمحصول  $Z$  واقعة  
على  $AB$  في نقطة  $O$  حدث

$$S \times OA = V \times OB \quad \text{اي} \quad S : V :: OB : OA$$

فاذا مددنا مستقيمي  $M$  و  $N$  عمودا على اتجاها القوتين المتوازيين



حدث هذا التناسب وهو  $\overline{و ب} : \overline{و أ} :: \overline{و د} : \overline{و م}$   
 كما تقدم (في الدرس الخامس من الهندسة عند ذكر الخطوط المتناسبة)

وبناء عليه يتبدل التناسب المتقدم بهذا التناسب وهو

$$\overline{س} : \overline{ص} :: \overline{و د} : \overline{و م}$$

الذي يحدث منه  $\overline{س} \times \overline{و م} = \overline{ص} \times \overline{و د}$

وحيث أن  $\overline{س}$  و  $\overline{و م}$  ثابتان فإذا فرضنا أن  $\overline{و د}$  يكون  
 على النصف يلزم أن قوة  $\overline{ص}$  تكون مضعفة مثني ليكون الحاصل  
 ثابتا والتوازن واقعا ولا مانع أيضا من أن تفرض أن  $\overline{و د}$  يكون  
 على الثلث فيلزم أن قوة  $\overline{ص}$  تكون متضاعفة ثلاث ولا مانع كذلك  
 من أن تفرض أن  $\overline{و د}$  يكون على الربع فيلزم أن قوة  $\overline{ص}$  تكون  
 متضاعفة رباع وهكذا فيأخذ حيثن في الازدياد تأثير قوة  $\overline{ص}$   
 في مقاومة  $\overline{ز}$  المساوية لمقاومة  $\overline{ز}$  والمضادة لها لاجل توازن القوة  
 المذكورة مع قوة أخرى كقوة  $\overline{س}$  موازية لها وازدياد هذا التأثير  
 يكون أولا بالمناسبة لقوة  $\overline{ص}$  المذكورة وثانياً بالمناسبة لبعده  
 و  $\overline{و د}$  وهو بعد اتجاه هذه القوة عن النقطة التي تكون بها المقاومة \* والحاصل  
 الذي يستعمل قياسا لتأثير القوة في المقاومة الموجودة بنقطة  $\overline{و}$   
 هو ما يسمى بمقدار القوة بالنسبة للنقطة  $\overline{و}$  المذكورة

فأذن يكون  $\overline{س} \times \overline{و م}$  هو مقدار قوة  $\overline{س}$  وكذلك يكون  
 $\overline{ص} \times \overline{و د}$  مقدار قوة  $\overline{ص}$  ولذا شرط التوازن المبين  
 بمعادلة  $\overline{س} \times \overline{و م} = \overline{ص} \times \overline{و د}$  فنقول

يشترط في جعل قوتين متوازيتين كقوتي  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  متوازيتين  
 حول نقطة  $\overline{و}$  الثابتة أن يكون مقدار القوتين المأخوذ بالنسبة للنقطة  
 المذكورة واحدا في كل منهما

ويشترط أيضا أن تكون قوتا  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  يديران المستقيم إلى جهتين  
 متقابلتين

هذا ولا مانع من وضع المقاومة في نقطة  $\overline{أ}$  (شكل ٢٤) واعتبار توازن

قوتى  $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المؤثرتين في جهتين متضادتين فاذا مددنا مستقيم

ا ح غ عودا على اتجاها هاتين القوتين المتوازيتين حدث هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{ا ح} : \overline{ا غ}$$

فاذن يكون  $\overline{ص} \times \overline{ا غ} = \overline{ز} \times \overline{ا ح}$

فيكون حينئذ حاصل المقدارين في هذه الصورة كالتي قبلها واحدا في قوتى

$\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المتوازيتين مع قوتى  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  كما انه واحد ايضا

في قوة  $\overline{ص}$  وقوة  $\overline{ز}$  التي هي محصلة  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$

ولئلا ان مستقيما حيثما اتفق كستقيم ا م د (شكل ٢٥) من نقطة آ

ونجعل مستقيمي و م و ب د عودين على هذا المستقيم فيحدث

من خواص الخطوط المناسبة (كما سبق في الدرس الخامس من الهندسة)

هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{و م} : \overline{ب د}$$

وينتج من ذلك ان  $\overline{ص} \times \overline{ب د} = \overline{ز} \times \overline{و م}$

فيكون حاصل ضرب قوة  $\overline{ص}$  في بعد نقطة وقوعها وهي  $\overline{ب}$  على

مستقيم ا م د وحاصل ضرب قوة  $\overline{ز}$  في بعد نقطة وقوعها وهي و

على هذا المستقيم هما مقدارا  $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المأخوذان بالنسبة للمستقيم

المذكور ويعرف هذا المستقيم حينئذ بمحور المقادير

وعليه في كان محور المقادير مارا بنقطة وقوع قوة  $\overline{س}$  المتوازية مع قوتى

$\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المتوازيتين كان مقدار  $\overline{ص}$  مساويا لمقدار  $\overline{ز}$  وكان

هذان المقداران مؤثرين في جهتين متضادتين

فاذا مددنا مستقيما ل م ن موازيا للمستقيم ا م د ثم جعلنا ا ل

و م م و ب د ن اعدة على هذين المستقيمين المتوازيين حدث

$$\overline{ا ل} = \overline{ن د} = \overline{م م}$$

لكن  $\overline{س} + \overline{ص} = \overline{ز}$

فأذن يكون  $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{ن} = \overline{ز} \times \overline{م}$

وتقدم أن  $\overline{ص} \times \overline{ب} = \overline{ز} \times \overline{و}$

فعليه يكون  $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{بن} = \overline{ز} \times \overline{وم}$

فإذا جعلنا حينئذ مستقيما كستقيم  $\overline{ل م ن}$  محورا للمقادير كان مجموع

مقدارى قوة  $\overline{س}$  وقوة  $\overline{ص}$  المتوازيين مكافئا لمقدار قوة  $\overline{ز}$

الموازنة لهما فيكون سكاثا ايضا لمقدار قوة  $\overline{ز}$  التى هى محصلة قوتى

$\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  حيث ان  $\overline{ز} = \overline{ز}$

وانفرض الآن أن هنالك ثلاث قوى مركبة مثل  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  و  $\overline{ع}$

(شكل ٦) ذبعتها الى اى محور من مقادير  $\overline{م}$  يحدث

اولا  $\overline{س} \times \overline{ا س} + \overline{ص} \times \overline{ب ص} = \overline{ز} \times \overline{د ز}$

وثانيا  $\overline{ز} \times \overline{د ز} + \overline{ع} \times \overline{ث ع} = \overline{ز} \times \overline{ه ز}$

فأذن يكون  $\overline{س} \times \overline{ا س} + \overline{ص} \times \overline{ب ص} + \overline{ع} \times \overline{ث ع} = \overline{ز} \times \overline{ه ز}$

وبناء عليه يكون مجموع مقادير القوى الثلاثة مساويا لمقدار محصلتها

ويبرهن فى المستوى ايضا على ان مجموع مقادير اربع قوى او خمس او ست

او غير ذلك من القوى المركبة يكون مساويا لمقدار محصلتها مهما كان وضع

محور المقادير واتجاهه

وبناء على ذلك اذا مددنا من كل نقطة من نقاط وقوع القوى عمودا على محور

المقادير كان حاصل ضرب المحصلة فى البعد الموافق لنقطة وقوعها مساويا

لمجموع الجواميل الموافقة لنقط وقوع سائر القوى المركبة

ويحدث من هذه الخاصية العظيمة تطبيقات مهمة على حسابات تحريك الاجسام

والالات فلا بد للتلاميذ من حفظها وتعليلها على وجه الصحة والاضبط

وفائدة الخاصية المذكورة هى انها تبين بدون واسطة وضع نقطة وقوع محصلة

ما يراد من القوى المتوازية من غير أن يكون هنالك ما يجبرنا على اخذها مشنى

وثلاث الخ

ولذلك نغذ مستقيمين عمودين على بعضهما كستقيبي  $\overline{وس}$  و  $\overline{وص}$

(شكل)

(شكل ٢٧) ثم نزل من نقط وقوع قوى  $\underline{ح}$  و  $\underline{خ}$  و  $\underline{ر}$  و  $\underline{ض}$  الخ وهي  $\underline{أ}$  و  $\underline{ب}$  و  $\underline{ث}$  و  $\underline{د}$  الخ باعده  $\underline{أ}$  و  $\underline{ب}$  و  $\underline{ث}$  الخ و  $\underline{أ}$  و  $\underline{ب}$  و  $\underline{ث}$  الخ على  $\underline{وس}$  و  $\underline{وص}$  فإذا كانت  $\underline{غ}$  نقطة وقوع محصلة  $\underline{ز}$  فإنه يحدث

$$\begin{aligned} \underline{غ} \times \underline{ز} &= \underline{ح} \times \underline{أ} + \underline{ب} \times \underline{خ} + \underline{ث} \times \underline{ر} + \dots \\ \underline{غ} \times \underline{ز} &= \underline{ح} \times \underline{أ} + \underline{ب} \times \underline{خ} + \underline{ث} \times \underline{ر} + \dots \end{aligned}$$

ويستخرج من ذلك

$$(١) \quad \underline{غ} = \frac{\underline{ح} \times \underline{أ} + \underline{ب} \times \underline{خ} + \underline{ث} \times \underline{ر} + \dots}{\underline{ز}}$$

$$(-) \quad \underline{غ} = \frac{\underline{ح} \times \underline{أ} + \underline{ب} \times \underline{خ} + \underline{ث} \times \underline{ر} + \dots}{\underline{ز}}$$

ولا تغفل أن محصلة  $\underline{ز}$  تساوي مجموع سائر القوى المركبة

فإذا تساوت قوى  $\underline{ح}$  و  $\underline{خ}$  و  $\underline{ر}$  و  $\underline{ض}$  الخ وكان عددها  $\underline{د}$  (أي غير متناهية) فإن محصلتها  $\underline{ح} \times \underline{د}$  فاذن يحدث من مساواة المقادير

$$\underline{غ} \times \underline{ز} = \underline{ح} \times \underline{أ} + \underline{ب} \times \underline{خ} + \underline{ث} \times \underline{ر} + \dots$$

$$\underline{غ} \times \underline{ز} = \underline{ح} \times \underline{د} + \underline{ب} \times \underline{خ} + \underline{ث} \times \underline{ر} + \dots$$

ويؤخذ من ذلك أن  $\underline{غ} \times \underline{د} = \underline{غ} \times \underline{أ} + \underline{ب} + \underline{ث} + \dots$

$$\underline{غ} \times \underline{د} = \underline{غ} \times \underline{أ} + \underline{ب} + \underline{ث} + \dots$$

فاذن يكون

وعليه فتي كانت القوى المركبة مساوية لبعضها واخذ لكل منها بعد نقطة

وقوعها عن محور المقادير وقسم مجموع هذه الأبعاد على عدد القوى فانه يحصل

بعد المحور عن نقطة وقوع المحصلة وهذا الحاصل مستعمل كثير في القنون

وإذا لم يكن هنالك الاثلاث قوى مساوية لقوة  $\underline{ح}$  وواقعة على نقط  $\underline{أ}$

و  $\underline{ب}$  و  $\underline{ث}$  الثلاثة التي هي رؤس مثلث  $\underline{أ ب ث}$  (شكل ٢٨)

وجعلت قاعدة المثلث المذكور وهي أ ب محورا للمقادير فان بعد  
 هذا المحور عن نقطتي وقوع القوتين الواقعتين على رأسي أ و ب يكون  
 حيثنمعدوما فيكون حاصل ضرب هاتين القوتين في قوة ح معدوما  
 ايضا فاذن لا يبقى معنا الا هذا التساوي يجعل ر فيه رمزا للمحصلة  
 وهو  $\text{ر} \times \text{غ} = \text{ح} \times \text{ث}$  لكن  $\text{ر} = ٣ \text{ ح}$   
 فيكون حينئذ  $\text{غ} = \frac{١}{٣} \text{ ث}$  على وجه التعديل  
 وعليه فيكون مركز ثقل القوى الثلاثة المتساوية الواقعة على رؤس المثلث  
 موجودا في ثلث بعد كل رأس عن القاعدة التي تقابلها فاذن يكون هذا المركز  
 عين مركز ثقل سبعة هذا المثلث (وبمثل ذلك يبرهن مع السهولة على أن مركز ثقل  
 اربع قوى متساوية واقعة على الرؤس الاربعة من شكل هرمي مثلثي هو عين  
 مركز ثقل حجم الشكل المذكور) وهذه قاعدة شهيرة جدا مستعملة غالبا  
 في حسابات الميكانيكا

وبمجرد تحصيل بعدى نقطة غ وهما غ غ و غ غ (شكل ٢٧)  
 عن مستقيمي وس و وص نعرف وضع نقطة غ المذكورة  
 التي هي مركز وقوع القوى

ونقطة غ المذكورة هي بمقتضى تعريف مراكز الثقل مركز ثقل قوى  
ح و خ و ز و ص الواقعة على نقاط أ و ب و ث و د الخ  
 (فاذا لم تكن القوى المتوازية كلها في مستو واحد لزم استبدال محاور المقادير  
 بمستويات المقادير الاعمدة على بعضها فعلى ذلك نستبدل الاعمدة على محاور  
أ ب و ب ث الخ بالاعمدة على المستويات وفي كلتا الصورتين يكون  
 مجموع مقادير القوى المركبة مساويا لمقادير المحصلة ويسهل اثبات ذلك  
 بخواص الخطوط المناسبة كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ثم ان القاعدة المذكورة آتفا هي وطريق اجرائها يستعملان بدون واسطة  
 في تحصيل وضع مركز ثقل ما براد من القوى المتفرقة على الخطوط والسطوح  
 او المجموع سواء كان تفرقها مستترا او لا

واذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل الخط الثقيل وهو أ ب (شكل ٢٩) فانه يقسم الى اجزاء صغيرة جدًا متحدة الثقل ويضرب كل جزء منها في بعده عن مستقيم أول كستقيم و س ثم عن مستقيم ثان كستقيم و ص ثم يقسم بالتوالي مجموع المستقيمتين الأولى والثانية على مجموع القوى فيحدث أولًا غ غ وثانيًا غ غ ولا يلزم ابضاح الطرق الآتية التي تستعمل لاجل تحصيل مركز ثقل السطوح والججوم الا بالنسبة للميئات فنقول

ان جلا فظة السفن يحتاجون الى قياس سطوح الشراعات وتعيينهم أولًا وضع مركز ثقل كل شراع و ثانيا مركز ثقل مجموع هذه الشراعات لانه كلما كان هذا المركز الاخير المعروف بمركز الشراعات مرتفعًا عن مركز الثقل كان لقوة الهواء شدة بها تميل السفينة وتقلب حيث لا مانع ولما لا نزاع فيه ان جميع الشراعات الدائرة حول نقط تعليقها تكون كلها نازلة في مستوى تماثل السفينة وتنقسم الى مثلثات يكون كل من مسطحها و مركز ثقلها معينًا

فاذا فرض (شكل ٢٧) ان قوى ح و خ و ر الخ المتوازية الدالة على سطح هذه المثلثات واقعة على نقط أ و ب و ث الخ التي هي مراكز ثقل المثلثات المذكورة فانه يحدث بدون واسطة من معادلتى (١) و (٢) المتقدمتين بعد انقطة غ التي هي مركز ثقل الشراعات وهما غ غ و غ غ عن محوري و س و و ص اللذين احدهما افقى والاخر رأسي وفي ذلك كفاية في معرفة وضع مركز الشراعات في مستوى تماثل السفينة

ولتكن سعة أم المستوية (شكل ٣٠) محدودة بمحني أم وثلاث مستقيمتين عمودية على بعضاهما هي أ أ و ام و م م والمطلوب معرفة مقدار قوة هذه السعة بالنسبة لمستقيم أم فلذلك نقسم مستقيم أم المذكور الى اجزاء كثيرة عرض كل جزء منها يساوي ل ونمذ من نقط المستقيم مستقيمتين ب ب و ث ث و د د الخ الموازية لمستقيمي أ أ و م م

فاذا اعتبرنا اجزاء معنى  $\overline{ا ب ش د}$  الخ وهي  $\overline{ا ب}$  و  $\overline{ب ش}$  و  $\overline{ش د}$  الخ الصغيرة جدا كخطوط مستقيمة حدث عن ذلك ان سطح  
 $\overline{ا م} = \overline{ا} \times \overline{ل} + \overline{ا ا} \times \overline{ل} + \overline{ب ر} + \overline{ش د} + \overline{د و} + \dots + \overline{م م}$

واذا فرض اتنا استبدلنا من مبدء الامر شكل  $\overline{ا ب ش د}$  الخ المتصل بشكل  $\overline{ا ا ب ش د د}$  الخ المدرج فان مراكز ثقل هذين الشكلين وهي  $\overline{غ}$  و  $\overline{ن خ}$  و  $\overline{ن خ}$  الخ تكون متباعدة عن  $\overline{ا م}$  بكميات تساوي  $\overline{ا ا}$  و  $\overline{ا ب}$  و  $\overline{ا ش}$  كل نظيره فاذن تكون مقادير المستطيلات التي يتركب منها الشكل المدرج بالنسبة لمحور  $\overline{ا م}$  هكذا

$$\begin{aligned} \overline{ا ا} \times \overline{ل} &= \overline{ا ا} \times \overline{ل} \\ \overline{ب ر} \times \overline{ل} &= \overline{ب ر} \times \overline{ل} \\ \overline{ش د} \times \overline{ل} &= \overline{ش د} \times \overline{ل} \end{aligned}$$

فيكون المقدار الكلي  $\overline{ا} \times \overline{ل} + \overline{ا ا} \times \overline{ل} + \overline{ب ر} + \overline{ش د} + \dots + \overline{م م}$  ومن ذلك يعلم ان المقدار الكلي يكون مساويا لمجموع مربعات مستقيمت  $\overline{ا ا}$  و  $\overline{ب ر}$  و  $\overline{ش د}$  مضروبا في نصف عرض القواعد المتساوية

فاذا اخذنا بشكل  $\overline{ا ا ب ش ش د}$  .... مدرج كان المقدار الكلي  $\overline{ا} \times \overline{ل} + (\overline{ب ر} + \overline{ش د} + \overline{د و} + \dots + \overline{م م})$  وهالك مقدارين يوجد بينهما مقدار سطح  $\overline{ا م}$  المتصل احدهما مقدار صغير جدا وهو

$$\overline{ا} \times \overline{ل} + (\overline{ا ا} + \overline{ب ر} + \overline{ش د} + \dots + \overline{م م})$$

ثانيهما مقدار كبير جدا وهو

$\frac{1}{4} \text{ ل } ( \text{بـ} + \text{ثـ} + \dots + \text{مـ} + \text{مـ} )$   
 فاذا اخذنا المقدار المتوسط بينهما حدث

$\frac{1}{4} \text{ ل } ( \frac{1}{4} \text{اـ} + \text{بـ} + \text{ثـ} + \dots + \text{مـ} + \frac{1}{4} \text{مـ} )$   
 فاذن يكون مقدار السعة او المسطح وهو  $\text{مـا}$  مساويا لنصف عرض  $\text{لـ}$   
 من جميع الطبقات مضروبا في مجموع مربعات اطوال  $\text{بـ}$  و  $\text{ثـ}$  الخ  
 المتوسطة وفي نصف مربع طول  $\text{اـ}$  و  $\text{مـ}$  المتطرفين

فيكون المقدار المحصل قريبا من الحقيقة بقدر ما تكون الطبقات المتقدمة  
 كثيرة ومتقاربة من بعضها جدا فاذا قسمنا هذا المقدار على سعة  $\text{مـا}$  ام  
 حدث  $\text{عـغ}$  الذي هو بعد محور  $\text{ام}$  عن مركز ثقل هذه السعة  
 وهو  $\text{عـغ}$

$\frac{1}{4} \text{اـ} + \text{بـ} + \text{ثـ} + \dots + \frac{1}{4} \text{مـ}$   
 وعليه فيكون  $\text{عـغ} = \frac{1}{4} \text{اـ} + \frac{1}{2} \text{بـ} + \frac{1}{4} \text{ثـ} + \dots + \frac{1}{4} \text{مـ}$

ثم ان حساب مقدار هذا الكسر هو اسهل شئ الا انه ينبغي فيه التاني  
 وكذلك يسهل تحصيل هذا المقدار بالهندسة بواسطة المثلثات القائمة الزوايا  
 التي خاصيتهم ان مربع الوتر يكون مساويا لمجموع مربعي الضلعين الاخرين  
 وقد استبان من ذلك ان خواص الهندسة عامة النفع في حل مسائل  
 الميكانيكا

وقد تكون الطريقة التي ذكرناها نفعامة فتستعمل في سطوح اي شكل  
 وليكن المطلوب تحصيل بعد محور  $\text{سـص}$  عن نقطة  $\text{غـ}$  التي هي  
 مركز ثقل سعة  $\text{اـبـثـ} \dots \text{مـثـا}$  (شكل ٣١) فمقد  
 متوازيات  $\text{اـ}$  و  $\text{بـ}$  و  $\text{ثـ}$  و  $\text{دـ}$  الخ التي على بعد  
 واحد من بعضها وليكن  $\text{غـ}$  و  $\text{غـ}$  مركزي ثقل شكل



$$\begin{aligned} \overline{م ا ب ث د م} \overline{و م ا ث د} \dots \overline{م} \text{ فيحدث عنهما} \\ \frac{\overline{١١} \frac{1}{4} + \overline{ب} + \overline{ث} + \overline{١} \dots + \overline{١} \frac{1}{4} \overline{م}}{\overline{م}} = \overline{غ غ} \\ \frac{\overline{١١} \frac{1}{4} + \overline{ر} + \overline{ث} + \overline{١} \dots + \overline{١} \frac{1}{4} \overline{م}}{\overline{م}} = \overline{و غ غ} \\ \frac{\overline{١١} \frac{1}{4} + \overline{ر} + \overline{ث} + \overline{١} \dots + \overline{١} \frac{1}{4} \overline{م}}{\overline{م}} = \overline{و غ غ} \end{aligned}$$

فيكون اول مقدار

$$\overline{م ا ب ث د م} \overline{ا} \dots = \overline{١} \frac{1}{4} (\overline{١١} \frac{1}{4} + \overline{ب} + \overline{ث} + \overline{١} \dots + \overline{١} \frac{1}{4} \overline{م})$$

وثانيا مقدار

$$\overline{ا ث م م ا} \dots = \overline{١} \frac{1}{4} (\overline{١١} \frac{1}{4} + \overline{ر} + \overline{ث} + \overline{١} \dots + \overline{١} \frac{1}{4} \overline{م})$$

فيكون خارج قسمة فاضل هذين المقدارين على فاضل السطوح اى السطح  
المفروض وهو  $\overline{م ا ب ث د م} \overline{ث ر ا}$  هو بعد مر كز نقل هذا السطح وهو  
 $\overline{غ غ}$  عن محور المقادير وهو  $\overline{س ص}$

ويسهل بواسطة (شكل ٣٠) ايجاد  $\overline{غ غ}$  الذى هو بعد مر كز نقل  
 $\overline{غ}$  بالنسبة الى محور  $\overline{ا ا}$  العمودى على  $\overline{ا م}$

فاذا حسبنا مقدار الطبقات المتوازية المدرجة الصغيرة جدا وكان ذلك  
بالنسبة الى  $\overline{ا ا}$  حدثت هذه المقادير

$$\begin{aligned} \overline{ا ا} \text{ مقدار} \quad \overline{١} \frac{1}{4} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ا ا} \\ \text{ثانيا مقدار} \quad \overline{ب ر ث} = \overline{٢} \frac{1}{4} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ب ر} \\ \text{ثالثا مقدار} \quad \overline{ث د و} = \overline{٣} \frac{1}{4} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ث د} \end{aligned}$$

فيكون المقدار الكلى  $\overline{١} \frac{1}{4} (\overline{١١} \frac{1}{4} + \overline{ب} + \overline{ث} + \overline{١} \dots + \overline{١} \frac{1}{4} \overline{م})$  (١)  
فاذا جعلنا الطبقات المدرجة اكبر من سعة  $\overline{م ا ب ث د ه الخ}$

## المتصل حدث

$\sqrt{x} \times \sqrt{x} \times \sqrt{x} = \sqrt{x^3}$  مقدار

ومقدار  $\frac{\dot{r}}{r} \times J + J \cdot \frac{r}{r} = \dot{r}$

و مقدار شود  $\frac{1}{2} \times 1 \times 1 =$

فأذن يكون المقدار الكلي مساويا

$$(-) (\dots + \overline{27} + \overline{20} + \overline{3} + \overline{1}) \overline{1}$$

وبأخذ نصف مجموع مقداری (۱) و (-) یحدث

$$(ج) \{ \dots + ۱۱ + ۲ + ۴ + ۶ + ۸ + ۱۰ + \dots \}$$

ونستمر كذلك الى م م الذي لا يضرب في ضعف عدد الطبقات الموافقة له بل يضرب في عددها البسيط فقط فيكون مقدار (ج) مقسوما على سطح

استد الخ يساوى غغ

ثم ان صناعات السفن يحتاجون الى تعيين مسطح ومركز ثقل ومقدار القطاعات  
الاقبية المتنوعة المصنوعة في القارين ( اى الجزء الاسفل من السفينة )  
والمنتهية بمحيطات يسمونها خطوط الماء او خطوط التوج واهل الطرق في ذلك  
الطريقة التى ذكرناها فيلزم أن تكون هذه الطريقة المستعملة عند المهندسين  
البحريين مستعملة ايضا عند صناعات سفن التجارة ومن هذا القبيل ايضا  
الطريقة التى ذكرناها لتعيين وضع مركز ثقل الاجسام الصلبة ومقدارها

فلنتقل وضع مركز ثقل الجسم الصلب الى مستوي المسقط المتقاطعين وهما  
المتعاملان في الهندسة الوصفية ( كما تقدم في الدرس الثالث عشر من  
الهندسة )

و لنقطع الجسم الى طبقات رأسية متحدة السمك من موز اليها بحروف  
 ا و ب و ج الخ والى طبقات اقية ميمنة باعداد ١ و ٢ و ٣  
 الخ ومتحدة السمك ايضا ويكون ترتيب الارقام دالا على ترتيب الطبقات  
 فاذا فرضنا ( شكل ٣١ ) ان سعة استد الخ قاعدة اسطوانة

فأتمه فان مركز ثقل هذه الاسطوانة يكون ساقطاً سقوطاً اقرباً على مركز ثقل السعة المذكورة ويحدث من المعادلات المتقدمة بعد مركز ثقل الاسطوانة المذكورة بالنسبة لمحورين عموديين على بعضهما

ولتوهم انقسام أي حجم كسفينية مثلاً إلى عدة طبقات أفقية على بعد واحد من بعضها ومرسومة على الصورة التي في شكل ٣٢ وتوهم أيضاً ان سطح السفينة عوضاً عن أن يكون متصلاً يكون مدرجاً بحيث يكون كدرج السلام المعوجة على حسب صورة الجسم الصلب وكلما تكاثرت الدرج المسمى في اصطلاحهم بالدرجات كان الجسم المدرج قريباً من الجسم الذي يكون سطحه متصلاً وبالجملة اذا فرضنا ان  $\theta$  هو الارتفاع الرأسي لساكن الطبقات او المدرجات حدث

(أولاً) ان حجم كل درجة من السلام يكون مساوياً  $\theta$  مضروباً في سطح الطبقة المستعملة قاعدة للمدرج

(وثانياً) ان مركز ثقل الدرجة يكون ساقطاً سقوطاً اقرباً على مركز ثقل الطبقة المستعمل قاعدة لهذا المدرج

(وثالثاً) ان ارتفاع  $\theta$  مضروباً في مقدار الطبقة يكون مساوياً بمقدار المدرج الذي تكون سعة هذه الطبقة قاعدة له

(ورابعاً) ان مجموع حجوم المدرجات يكون دالاً على حجم  $Q$  الكلي للجسم المفروض

(وخامساً) ان مجموع مقادير المدرجات يكون دالاً على المقدار الكلي للجسم المذكور

وحينئذ اذا كانت المقادير مأخوذة بالنسبة لمحور  $OS$  وكان مجموعها  $M$

حدث  $EG = \frac{M}{Q}$  فإذا كانت مأخوذة بالنسبة لمحور  $OS$  وكان

مجموعها م فإنه يحدث  $\overline{و غ} = \frac{م}{ق}$

ولا يخفى ما في هذه الطريقة من الإيجاز والسهولة فلهذا كانت مستعملة عند علماء النظريات وغيرهم ونافعة لجميع المهندسين والصناعيين الذين يريدون حساب وضع مركز ثقل أى حجم على وجه العمة والضبط هذا ولا يبالى من تكرير القول بأن معرفة هذه الطريقة مما لا بد منه خصوصا لصناع السفن ولا مانع ان البحارة اذا عرفوها - حق المعرفة وأجروا مامانلها من الطرق يستفيدون منها فوائد جليلة تتعلق بسفهم

وقد اقتصرنا هنا على ذكر الوضع الشهير لمركز ثقل عدة سطوح وعدة اجسام صلبة مهمة في الصناعة وابقينا للتلامذة الذين يريدون التبحر في المعارف الاطلاع على الكتب الجلية الموافقة في هذا المعنى وثبات ما ذكره من الخواصل فنقول

ان مركز ثقل المنشور او الاسطوانة يكون على بعد واحد من القاعدتين العليا والسفلى وبقطع المنشور والاسطوانة الى جرتين متساويتين بمستوى موار لهاتين القاعدتين يكون مركز ثقل القطاع عين مركز ثقل المنشور او الاسطوانة .

فاذا اخذنا مركز ثقل كل قاعدة من المنشور او الاسطوانة ووصلنا بين المركزين بمستقيم واحد فان منتصف هذا المستقيم يكون مركز ثقل المنشور او الاسطوانة

(فاذا كان المنشور قائما كان المستوى الذى يقسمه الى قسمين متساويتين بالتوازي للقاعدتين على بعد واحد من هاتين القاعدتين مستوى عمال فاذن يكون محتويا على مركز ثقل المنشور

ولنفرض انقسام المنشور المذكور الى كثير من الطبقات الموازية للقاعدتين فتكون مراكز ثقل هذه الطبقات تقريبا عين مراكز ثقل سطوحها وموجودة

على مستقيم واحد مواز لاضلاع المنشور ويكون حينئذ مركز ثقل هذا المنشور موجودا على منتصف المستقيم المذكور فاذا فرضنا ان القطوع المذكورة تتحرك على بعضها بالتوازي بحيث تكون مراكز ثقلها موجودة دائما على مستقيم واحد فانه يحدث عن ذلك حجم مدرج مركز ثقله موجود دائما على المستقيم الواصل بين هذه المراكز

وكما فرضت الطبقات رقيقة وعديدة كان الحجم المدرج قريبا من المنشور المائل بدون أن يكون ذلك مانعا من أن يكون وضع مركز ثقل هذا الحجم على بعد واحد من المستويات المحددة للطبقات المتطرفة

فاذن يكون مركز الثقل في المنشور المائل او القائم موجودا في منتصف المستقيم المار بمركز ثقل القاعدتين

ويظهر من تحليل الاسطوانة القائمة الى اسطوانات مدرجة تكون كل درجة منها اصغر من التي يجانبها ان مركز ثقل الاسطوانة المائلة او القائمة يكون موجودا في منتصف المستقيم الواصل بين مركزي ثقل القاعدتين

ويحدث من قسمة مجموع اضلاع المنشور الناقص على عدد الاضلاع بعد القاعدة عن مركز ثقل ذلك المنشور وذلك يكون بقياس هذا البعد بمستقيم مواز للاضلاع

فاذا اخذنا مركز ثقل قاعدة هرم او مخروط ووصلنا بينهما وبين الرأس بمستقيم ثم اخذنا ربع هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة واخذنا ثلاثة ارباعه بالابتداء من الرأس فان النقطة التي نجدها تكون مركز ثقل اما للهرم او المخروط المذكورين

(واذا قسمنا الهرم المثلثي الى طبقات رقيقة جدا بواسطة مستويات موازية للقاعدة وجدنا ان مراكز ثقل هذه الطبقات تكون موجودة في مراكز ثقل القطاعات الموازية للقاعدة ولكن حيث ان هذه القطاعات متشابهة ونقطتها المتقابلة موجودة على مستقيم واحد مع رأس الهرم فان مراكز الطبقات المذكورة وكذلك مركز الهرم تكون موجودة على المستقيم الواصل بين مركز

نقل القاعدة والرأس وذلك يوافق الرأس الأربعة والأوجه المقابلة لها  
 وليكن  $\overline{غ}$  (شكل ٢٣) مركز نقل قاعدة  $\overline{ابث}$  لهرم  
 $\overline{ض ابث}$  فيكون  $\overline{كغ} = \frac{1}{4} \overline{كب}$  وليكن ايضا  $\overline{غ}$   
 مركز نقل  $\overline{ض اث}$  فيكون  $\overline{كغ} = \frac{1}{4} \overline{كض}$  فاذن  
 اذا مددنا  $\overline{غ ب}$  و  $\overline{غ غ}$  فان خطي  $\overline{كض}$  و  $\overline{كب}$   
 يكونان مقطوعين قطعاً مناسباً وعليه فيكون  $\overline{غ غ}$  ثلث  $\overline{ب ص}$   
 وكذلك  $\overline{ك غ}$  يكون ثلث  $\overline{ك ب}$  و  $\overline{ك غ}$  ثلث  $\overline{ك ض}$   
 فبسبب تشابه مثلثي  $\overline{غ غ غ}$  و  $\overline{غ ب ض}$  يكون  $\overline{غ غ} = \frac{1}{4}$   
 $\overline{غ ض}$  وبناء عليه يكون  $\overline{غ غ} = \frac{1}{4} \overline{ض غ}$  فاذن يكون مركز  
 نقل الهرم موجوداً في ربع بعد الرأس عند مركز نقل القاعدة  
 ومركز نقل سطح الكرة وحجمها موجود في مركز تماثلها  
 ومركز نقل الطيلسان الكروي موضوع على محور التماثل اوعلى سهم الطيلسان  
 ويكون في منتصف هذا السهم  
 ومركز نقل وحجم سطح الدوران موضوع على محوري تماثلها  
 فاذا مددنا مستويين  $\overline{ا ب}$  من محور مخروط قائم مستدير تام او ناقص فان مركز  
 نقل المثلث اوشبه منحرف القطاع يكون مركز نقل سطح المخروط التام  
 او المخروط الناقص  
 ومركز نقل حجم نصف الكرة يكون في ثلاثة اثمان نصف القطر بالابتداء  
 من المركز  
 ومركز نقل قطعة القطع المكافئ يكون في ثلاثة اثمان السهم بالابتداء  
 من الرأس  
 ومركز نقل قطعة الحجم المكافئ المتولد من دوران القطع المكافئ على محوره

يكون في ثلثي المحور بالابتداء من الرأس

\* (بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام) \*

فدفعي أن نفسر ونوضح هنا ما بين تعيين بعض الججوم وتعيين مركز ثقل بعض السطوح من المشابهة العظيمة فنقول

نفرض أن مركز ثقل  $\overline{غ}$  (شكل ٢٣) لسطح دائري حول محور  $\overline{وو}$  يكون معيناً في رسم محيط  $\overline{ومو}$  في حال التحرك لسطح دوران ويكون الحجم المحصور في سطح الدوران المذكور مساوياً لسطح  $\overline{ومو}$  وضروباً في الدائرة التي قطعها مركز  $\overline{غ}$

ولا ثبات ذلك نمد من محور  $\overline{وو}$  مستويين كستوي  $\overline{وح}$  و  $\overline{وخ}$  متقاربين من بعضهما قريباً كلياً بينهما زاوية صغيرة جداً فيمكن أن يعتبر أن الجسم منته بشقة اسطوانية بين المستويين المذكورين فيكون للاسطوانة الناقصة قاعدة كقاعدة  $\overline{ومو}$  على مستوى  $\overline{وح}$  فإذا قسمنا هذه القاعدة إلى مربعات صغيرة متساوية كان كل واحد منها قاعدة لمنشور صغير قائم منته بمستوى  $\overline{وخ}$

ولكن  $\overline{وسه}$  أحد هذه المربعات الصغيرة فإذا مددنا من نقطة  $\overline{هـ}$  التي هي مركز المربع المذكور خط  $\overline{هـه'}$  موازياً لمحور  $\overline{وو}$  فإنه يحدث معنا حجم منشور منشور  $\overline{ا-هـ-ه'}$  تكون قاعدته  $\overline{وسه}$  و  $\overline{هـه'}$  ارتفاعه ويكون مساوياً  $\overline{وسه} \times \overline{هـه'}$  وعليه فهذا الحاصل هو مقدار  $\overline{وسه}$  المنقول على مستوى  $\overline{وخ}$  بالنسبة إلى مستوى  $\overline{وح}$  فاذن يكون مجموع حجوم المنشورات اعني حجم قطع  $\overline{حوخ}$  مساوياً لمجموع مقادير  $\overline{ومو}$  في مستوى  $\overline{وخ}$  بالنسبة لمستوى  $\overline{وح}$

فاذا اسقطنا في  $\overline{غ غ}$  نقطة  $\overline{غ}$  التي هي مركز ثقل  $\overline{وم د و}$  حدث

سطح  $\overline{وم د و} \times \overline{غ غ} =$  مجموع مقادير  $\overline{وم د و}$  الموضوع في مستوى  $\overline{وغ}$  بالنسبة الى مستوى  $\overline{وح}$  فاذن يكون الحاصل هكذا

سطح  $\overline{وم د و} \times \overline{غ غ}$  يساوي حجم جزء من جسم الدوران محصور بين  $\overline{وح}$  و  $\overline{وغ}$

وعلى ذلك فيكون  $\overline{غ غ}$  مساويا للمسافة التي يقطعها مركز  $\overline{غ}$  لينتقل من مستوى  $\overline{وح}$  الى مستوى  $\overline{وغ}$  متى فرضنا ان المستويين متقاربان من بعضهما تقاربا كليا .

فاذن يحدث من سطح  $\overline{وم د و}$  مضروب في مسافة  $\overline{غ غ}$  التي يقطعها مركز ثقله عند دورانه حول محوره وهو  $\overline{وو}$  حاصل مساو لحجم جزء من جسم الدوران محصور بين مستويي  $\overline{وح}$  و  $\overline{وغ}$

ويمكن أن نتوهم عدة مستويات بقدر ما يراد تكون متقاربة من بعضها بالكلية ومارة بالمحور فيكون حجم جزء جسم الدوران المحصور بين هذه المستويات مبينا بحاصل ضرب سعة  $\overline{وم د و}$  في المسافة التي يقطعها مركز ثقل هذه السعة .

وعلى ذلك متى كان الجسم خادئا من سعة مستوية دائرة حول محور كان حجم هذا الجسم مساويا لحاصل ضرب السعة في المسافة التي يقطعها في هذا التحرك مركز ثقل هذه السعة

والاثبات المتقدم يبقى على حالة واحدة متى كانت سعة  $\overline{وم د و}$  الدائرة حول  $\overline{وو}$  لاجل الانتقال من  $\overline{وح}$  الى  $\overline{وغ}$  دائرة حول محور ثان مرسوم في مستوى السعة لاجل قطع جزء كبير او صغير من سطح الدوران



الجديد ثم حول محور ثالث مرسوم في مستوى السعة وهكذا  
وفي جميع هذه الاحوال يكون الحجم المنتهى بسطح جديد مساويا لسطح السعة  
الراسمة مضروبا في المسافة التي يقطعها مركز ثقل هذه السعة

\*( تطبيق )\*

هذه الطريقة السهلة مستعملة عند المعمارجية الماهرين في حساب مجوم  
او كيات الاجار والحديد والاشخاب التي تحتوى عليها السلام الخلزونية  
والعقودات المستديرة ومستعملة ايضا عند مهندسى القناطر والجسور  
في حساب حفر وردم الخيجان وكذلك عند الطوبجية في حساب حجم الاجزاء  
المستديرة من المخارج النارية وهلم جرا ويكسر استعمالها ايضا عند  
صناع السفن في تكعيب الاشخاب

ويجب على التلامذة أن يلتفتوا كل الالتفات الى ما بين خواص الهندسة  
والميكانيكا من الروابط الاكيدة فان الميكانيكا بدون الهندسة ليست الاعمال  
بلا علم وممارسة بلا موقف وربما استحال بدونها وكذلك الميكانيكا لا بد  
للهندسة منها فانها تكسب الهندسة اشغالا مهمة وذلك لانها تحدث لها  
آلات متنوعة لاجل اجراء سائر العمليات الدقيقة على وجه الصحة والضبط  
والسهولة ولشهر الآن عن ساعد الجهد والاجتهاد في بيان النسب التي لا بد منها  
لهذين العليين الظرفيين لاجل تطبيقهما معا على الصناعة فنقول

\*( الدرس الخامس )\*

\*( في بيان ما بقى من قوانين الحركة )\*

قد تقدم الكلام على قوانين الحركة الحاصل من القوى المتجهة على مستقيم  
واحد وتقدم ايضا انه اذا كان قوتان واقعتين على نقطة مادية في اتجاه واحد  
مدة زمن معلوم كانت المسافة الكلية المقطوعة في هذا الزمن باقية على حالة  
واحدة متى كانت النقطة المادية متحركة في مبداء الامر بالقوة الاولى ثم بالقوة  
الثانية

فاذا فرضنا مثلا ان سفينة سارت مع الانتظام والرياح تدفعها من خلفها

وكان عليها ملاح يسير من مؤخرها الى مقدمها مع الانتظام ايضا وفرضنا ان هذا الملاح وصل بعد زمن معلوم الى المقدم متبعا اتجاه سير السفينة فان المسافة الكلية التي يقطعها تكون عين المسافة التي يقطعها الوساير من المؤخر الى المقدم في الزمن المذكور حال استقرار السفينة واذا كان الملاح مستقرا والسفينة سائرة فان الريح ينقله معها بالانتظام في الزمن المعلوم بالسرعة الاصلية لها

وليس المسافات المقطوعة وحدها هي التي تبقى على حالها في هاتين الصورتين بل كذلك القوة الكلية المستعملة لتحريك الملاح والسفينة فانها ايضا تبقى على حالها ولا يلزم للسفينة والملاح اكثر من قوة واحدة سواء كان متحركا كهما حاصل في زمن واحد وفي ازمنة متوالية

والمسافة الكلية المقطوعة بواسطة القوتين المؤثرتين معا هي في الصورتين المذكورتين مجموع المسافات المقطوعة اذا كان كل من القوة التي تسير السفينة الى الامام والقوة التي تسير الملاح كذلك مؤثرا على حدته

ولنفرض الآن ان الملاح عند تقدم السفينة يرجع القهقري من المقدم الى المؤخر فالحاصل حينئذ يكون كلكو كان الملاح مستقرا والسفينة تتقدم او بالعكس بمعنى انها مستقرة وهو متأخر فبناء على ذلك تكون المسافة الكلية المقطوعة عند حصول التحركين معا مساوية لفاضل المسافات المقطوعة متى كان الملاح متحركا بقوته الاصلية دون غيرها لو كان متحركا بالقوة التي تتقدم بها السفينة

واقول ان خاصية المادة وهي كونها تقطع المسافة الكلية في زمن معلوم اذا كانت عدة قوى مؤثرة مجعا على اتجاه واحد وكان تأثيرها بالتعاقب في الزمن المذكور ليست مقصورة على الاجسام المعدة للتحرك بتأثير القوى المتجهة على مستقيم واحد بل هي عامة مهما كان اتجاه تلك القوى فاذا اردت أن تعرف لذلك مثلا سهلا يستعمل كثيرا في التحركات المركبة فضع نفسك في زورق وسرفيه من جهة الى اخرى حال استقراره فان سارا الى

الامام في جهة الطول فانك لا تستر على هذا التحرك الانتقال بالسرعة المنتظمة ولو استعملت كمية واحدة من القوة لتحرك بها  
فاذا اطلقت بندقة او طبخية من قطعة من السفينة الى اخرى فان الرصاصة تصل  
الى النقطة المعينة اذا كانت السفينة مستقرة او متحركة بشرط أن لا يتغير  
هذا التحرك لمدة المسافة التي تقطعها الرصاصة من وقت خروجها من البندقة  
او الطبخية الى الهدف العين ولنبحث عن الطريق الذي تسلكه الرصاصة  
المذكورة فنقول

لنفرض ان الرصاصة او غيرها من الاجسام بجسم  $\overline{A}$  (شكل ١) تكون  
مدفوعة بقوتين من موزاليهما يسمى  $\overline{AS}$  و  $\overline{AV}$  فان اثرت القوة  
الاولى وحدها فانها تسير جسم  $\overline{A}$  في ازمنة متساوية مسافات  $\overline{A-}$   
و  $\overline{A-}$  و  $\overline{A-}$  الخ المتساوية على مستقيم  $\overline{AS}$  الذي هو امتداد  
 $\overline{AS}$  وان اثرت القوة الثانية وحدها فانها تسير جسم  $\overline{A}$  المذكور في تلك  
الازمنة المتساوية مسافات  $\overline{A-}$  و  $\overline{A-}$  و  $\overline{A-}$  الخ المتساوية على مستقيم  
 $\overline{AV}$  الذي هو امتداد  $\overline{AV}$

فاذا اثرت قوة  $\overline{AS}$  وحدها مدة الزمن الاول فانها تنقل جسم  $\overline{A}$  الى  $\overline{A-}$   
ثم اذا اثرت قوة  $\overline{AV}$  وحدها مدة زمن مساو للزمن المذكور في اتجاهها  
الاصلي فانها تسير جسم  $\overline{A}$  على مستقيم  $\overline{AB}$  المساوي لمستقيم  $\overline{A-}$   
والموازي له

واذا اثرت قوة  $\overline{AS}$  وحدها في الزمنين الاولين فانها تنقل جسم  $\overline{A}$  الى  $\overline{A-}$   
ثم اذا اثرت قوة  $\overline{AV}$  وحدها مدة زمنين مساويين للزمنين المذكورين  
فانها تسير جسم  $\overline{A}$  على مستقيم  $\overline{AB}$  المساوي لمستقيم  $\overline{A-}$   
والموازي له وهكذا

وبالجملة فنقط  $\overline{B}$  و  $\overline{C}$  و  $\overline{D}$  الخ التي ينقل فيها الجسم حين تكون  
قوتنا  $\overline{AS}$  و  $\overline{AV}$  مؤثرتين على التعاقب هي عين النقط التي يصل اليها  
هذا الجسم متى فرض ان هاتين القوتين تؤثران معاً مدة زمن واحد وايضا



لكن حيث ان خط  $\overline{ش ك}$  مواز لـ  $\overline{ن ع}$  يحدث من خاصية الخطوط  
المتناسبة (كما في الدرس الخامس من الهندسة)

$\overline{ان} : \overline{ن ع} :: \overline{اش} : \overline{ش ك}$

فاذن يكون  $\overline{ش ك} = \overline{ش ن}$  وبما مستقيم  $\overline{ك ن ر}$  تكون

زاويتا مثلث  $\overline{ك ش ن}$  وهما  $\overline{ش ك ن}$  و  $\overline{ش ن ك}$

متساويتين وكذلك زاوية  $\overline{ك ن ع}$  تكون مساوية لكل منهما

فاذن يقسم مستقيم  $\overline{ك ن ر}$  زاويتي  $\overline{ان ع}$  و  $\overline{ص ن ص}$

الى جزئين متساويتين وحيث ان قوتي  $\overline{ص ص}$  و  $\overline{ص ع}$  متساويتان

فان محصلتهما وهى  $\overline{ز}$  تكون موضوعة على  $\overline{ك ن ر}$  اذ لا مقتضى

لكونها اقرب من احدى قوتي  $\overline{ص ص}$  و  $\overline{ص ع}$  المذكورتين اكثر من

ال اخرى

فعلى ذلك تكون محصلة قوتي  $\overline{س س}$  و  $\overline{ص ص}$  عين محصلة قوتي  $\overline{ص ص}$  و  $\overline{ز}$

لكن تكون محصلة القوتين الاوليين مارة بنقطة  $\overline{ا}$  المشتركة بينهما وتكون

محصلة القوتين الاخرين مارة بنقطة  $\overline{ك}$  المشتركة بينهما فاذن تكون

محصلة  $\overline{س س}$  و  $\overline{ص ص}$  مارة بنقطة  $\overline{ا}$  و  $\overline{ك}$  اعنى انها تكون مارة

بمستقيم  $\overline{ا ك ع}$  الذى هو وازم متوازى الاضلاع وهو  $\overline{ام ع ن}$

الذى ضلعا وهما  $\overline{ام}$  و  $\overline{ان}$  دالان على قوتي  $\overline{س س}$  و  $\overline{ص ص}$

الركبتين

ولاجل تحصيل مقدار محصلة  $\overline{ز}$  المتجهة على  $\overline{ا ع}$  (شكل ٣) نجعل  $\overline{ز}$

مساويا ومضادا لهذه القوة وعليه فتكون قوتي  $\overline{س س}$  و  $\overline{ص ص}$  و  $\overline{ز}$

متوازنة وتكون كل قوة منها مساوية ومضادة لمحصلة القوتين الاخرين

وترسم متوازي اضلاع يكون وتره متجهها على  $\overline{AM}$  وضاعاه متجهين على  
 $\overline{AN}$  و  $\overline{AE} = \overline{AB}$  حتى اريد أن  $\overline{AN}$  يكون دالا على  
 المركبة الاولى وكان  $\overline{AM}$  اتجاه محصلة  $\overline{MS}$  وكانت المركبة الثانية  
 وهي  $\overline{Z}$  متجهة على  $\overline{AE}$  لزم أن يكون  $\overline{AE}$  ضلعاً من متوازي  
 الاضلاع وهو  $\overline{AN}$   $\overline{M}$   $\overline{E}$  فاذن يكون  $\overline{AE} = \overline{AN} = \overline{AM}$   
 فتكون محصلة  $\overline{Z} = \overline{Z}$  مبينة المقدار والاتجاه بمستقيم  $\overline{AE}$  وهو  
 وتر متوازي الاضلاع وهو  $\overline{AM}$   $\overline{N}$  اذا كان  $\overline{AM}$  و  $\overline{AN}$  اللذان  
 هما ضلعاً متوازي الاضلاع المذكور دالين على المركبتين  
 وكلا  $\overline{AN}$  متوازي الاضلاع للقوى مطبقاً على ما ينشأ عن الاعضاء من  
 الحركات الصغيرة وعلى حركات الالات المستعملة والحركات الخارجة التي  
 نجبر على عملها لزم أن نعتبر في سائر الاحوال ان ما نستعمله من القوى المركبة  
 يكون متجهها على وجه بحيث يحدث منها محصلة متجهة بنفسها الى الجهة التي  
 يظهر لنا انها موازنة وان كمية القوى المدومة تكون قليلة مهما امكن هذا  
 وقد تجاسرنا على أن نحقق ان الممارسة المصنوعة بالاتباع والمواظبة  
 في القوربات والورش يحدث منها في القوة والزمن وفرة فوائد عظيمة ويتيسر به  
 التباعده عن الاخطار الممهولة ولنوضح ذلك بمثال يكثر وقوعه مع ما فيه غالباً  
 من الضرر فنقول

اذا كانت حركة العربدة سريعة فازبغت راحتهما فوثب من باجهما ونظا الى الارض  
 فان جسمه يكون مدفوعاً أولاً بتحرك هذه العربدة الاذني وثانياً بقوة  
 التماثل الرأسية فتكون محصلة القوتين الماثلة سبباً في وقوع هذا الشخص  
 حين يصل الى الارض وحيث كان الوتر الدال على محصلة القوتين مؤثراً مع  
 الانحراف فان هذا القطر الذي يمر بمركز ثقل هذا الشخص لا يمر برجليه  
 اذا كان منتصباً فينبغي له حتى لا يقع أن يميل كثيراً عند التماسك بالجزء الاعلا

من جسمه الى الجهة التي تأتي منها العربية وكثيرا ما غرقت اعضاء الناس بل منهم من هلك عند النط من عربة بحرورة باقراس ازبحجتهم سرعتها وماذا لك الاجل لهم بهذه الكيفية ودهشتهم عند حصول الخطر

ومتى كان ضلعان كضلعى اب و اث من شكل متوازى الاضلاع (شكل ٤) متساويين حدث من ذلك شكل معين وقسم الوتر الزاوية الواقعة بين الضلعين الى جزئين متساويين وعليه ففى ك كان قوتان متساويتين فان محصاهما تقسم الزاوية الحادة منهما الى جزئين متساويين فيؤخذ من ذلك انه لا داعى لان تكون المحصلة قريبة من مركبة اكثر من اخرى

ولجميع الطيور شكل متماثل بالنسبة لمستوى اد الرأسى (شكل ٥) الممتد من رؤسها الى اذناها متى كانت منتصبه مع الاستقامة فاذا طارت حدث من اجنحتها حركات متماثلة وضربت الهواء الذى يرد تلك الاجنحة بقوتين متساويتين موضوعتين على وجه متماثل بالنسبة لمستوى اد فاذا ن تكون محصلة هاتين القوتين موضوعه فى هذا المستوى ودافعه لكل طائر على اتجاه معين بهذا المستوى

وكما كان ذراعا الانسان وساقاه مستعمله على وجه متماثل كان جأباه متماثلين ولاخل تحصيل تأثير ميكانيكى ايا كان يلزم ان محصلة مجهودات هذه الاعضاء تمر بمستوى الجسم الانسانى

ومثال هذا التأثير يؤخذ من تعليم فن العوم وذلك لان العائم لاجل أن يتبع الطريق المتجهة على مستوى تماثل جسمه يصنع حركات متماثلة يديه ورجليه كما فى (شكل ٦) ويعين اندفاع الماء على راحتي اليدين واخصم الرجلين بسهام ف و ف و ف و ف والمحصلتان برمزى ر و ر والسلك المتماثل الصوره له بالنسبة للمستوى الرأسى الممتد من رأسه الى ذنبه (شكل ٧) امشاه موضوعه بالتماثل على جانبيه يحركهما مع السوية كما ان العائم يحرك يديه ورجليه بحيث يحدث من ذلك ومن مستوى التماثل زاوية واحدة وهذا هو سبب كون المحصلة تكون فى هذا المستوى وتحدث

سيرا مستقيما

وكذلك السفن المصنوعة على صورة السمك لها مستورا في تماثل ومتجه  
من المؤخر الى المقدم فتي اريد تسيير السفينة استعمل لذلك قوى متساوية  
موضوعة بوجه تماثل في كل مره جهتي المستوى المذكور وهذه القوى  
(شكل ٨) تارة تكون مجاذيف وتارة عجلات ذات كفات وتارة اثقالا  
(راجع القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب) وقد تكون محصلة  
تلك القوى موضوعة دائما في مستوى التماثل اذا كان الغرض تسيير السفينة  
سيرا مستقيما

وقد يؤخذ من العموم الناشئ عن قوة الهواء الجاهي تطبيق ثابت دائما يتعلق  
بتحليل القوى وليكن أ ب (شكل ٩) محور السفينة التي يكون فيها مستقيم  
م ن دالا على مسقط الشراع المستند في نقطة و على الصاري فاذا كان  
و ح دالا مقدارا وانحاجها على قوة س التي يدفع بها الهواء الشراع  
نرسم متوازي الاضلاع القائم وهو و ش د الذي وزه و ح فاذا  
حللنا قوة و ح الى قوتين فان احدهما وهي و ث الموجودة  
في جهة شراع م ن لا تحدث تأثيرا ما تسيير السفينة وثانيتهما وهي و د  
العمودية على الشراع هي التي دون غيرها تدفع الشراع المذكور والصاري  
والسفينة واذا حللنا قوة و د الى قوتين اخريين فان احدهما وهي و هـ  
تكا تدسير السفينة في جهة محور التماثل وثانيتهما وهي و ف تدفعها  
بالجنب وتحدث التحرك المسمى بالنعرف ويجب على صانع السفن والملاح  
أن يبرز تركيب سفنهما ويحركهما بحيث يحدث من قوة و هـ اعظم سير ممكن  
ومن قوة و ف اقل انحراف ممكن

وفي متوازي الاضلاع وهو أ ب ث د (شكل ١٠) اذا كانت زاوية  
أ ب ث منفرجة جدا يكون وزه وهو أ د قصيرا جدا وكلما كانت  
زاوية أ ب ث صغيرة كان الوزر المذكور يمتد الى النقطة التي تكون فيها



زاوية  $\overline{ب\text{ا}ث}$  المذكورة معدومة وحينئذ يكون  $\overline{ا\text{ب}}$  موضوعا على  $\overline{ا\text{ب}}$  وتكون المحصلة مساوية لمجموع المركبتين وعليه فاذا لم تكن زاوية  $\overline{ب\text{ا}ث}$  معدومة لاتكون محصلة قوتى  $\overline{ا\text{ب}}$  و  $\overline{ا\text{ث}}$  مساوية بالكايه لمجموع هاتين المركبتين .

ويكثر استعمال خاصية محصلة  $\overline{ا\text{د}}$  وهى اتقاصها كلما زادت زاوية  $\overline{ب\text{ا}ث}$  ولذا كذلك مثلا سملا نقول

اذا فرض ان المطلوب ربط صندوق  $\overline{م\text{م}}$  بجبل من دبابه (شكل ١١)

فانه يبدأ بجعل  $\overline{ش\text{ا}}$  الذى هو طرف الجبل المذكور مارا من حلقة  $\overline{ا}$  المصنوعة فى نقطة  $\overline{ا}$  التى هى طرف  $\overline{ا\text{ب}}$  ثم يشد الطرف الخالص شدا قويا فى الاتجاه قريب جدا من  $\overline{ا\text{ث}}$  فاذا كان لا يمكن تحصيل تأثير فى هذه الجهة فان هذا الطرف يوجه بالعرض الى  $\overline{ا\text{د}}$  ومتى شد بقوة صغيرة حدث من ذلك زاوية  $\overline{ب\text{ه}ث}$  اعنى ان نقطة  $\overline{ا}$  تحير على أن تكون

فى  $\overline{ه}$  بحيث ان الوتر الصغير وهو  $\overline{ه\text{ف}}$  من متوازى الاضلاع يكون عند رسم هذا الشكل دالا على القوة الصغيرة لليد التى توازن شدى الجبل العظيم وهما  $\overline{ب\text{ه}}$  و  $\overline{ه\text{ث}}$  ثم يشبك طرف الجبل الخالص تحت الصندوق ثم بين  $\overline{ه\text{ب}}$  و  $\overline{ه\text{ث}}$  و  $\overline{ه\text{د}}$  الخ وتوصل نقطة  $\overline{ه}$  الى نقطة  $\overline{ا}$  بواسطة شد الجبل شدا تدريجيا

وكانوا سابقا يستعملون كثيرا السلاح المعروف بالنشاب او السهم فكانوا يرمونه بقوس  $\overline{ش\text{ه}د}$  المرن (شكل ١٢) المندوب بوتر  $\overline{ش\text{د}}$  وكان هذا القوس مستعملا بكثرة وقد تقدم فى الدرس الثالث من الهندسة ان كلمة قوس ووتر ونشاب تلت من فن الصيد والتقنص والحرب واستعملت فى الفاظ العلم ولذا ذكر تأثير القوس فنقول

ان الانسان يقبض باحدى يديه على قوسه فى نقطة  $\overline{ه}$  ويمسك بالثانية الطرف الغليظ من النشاب ويمسك بالثالثة على هذا الطرف فى نقطة  $\overline{ف}$  التى

هي منتصف الوزر وما يذله من الجهد في ابعاد نقطة ه عن نقطة ف يكون  
 مينا بمقدار ٢ ف غ وكذلك الجهد الحاصل على نصفي الوزر ين يكون مينا  
 بمقدار غ د و غ ث

فاذا افلقت اليد الموضوعة في نقطة غ طرف السهم فان نصفي وترى  
 غ ث و غ د يأخذان طولهما الاصلى وذلك لان ما يؤثران في السهم  
 بقوة واحدة ويجبرانه على اتباع اتجاه الوزر وهو غ ه

وعند الرمي تكون نسبة الشدة الحاصل من كل نصف وترالى القوة التي يه ابرى  
 سهم اب كنسبة طول غ ث او غ د الى ضعف غ ف  
 لان غ ف هذا هو نصف وتر متواوى الاضلاع للقوى المتألف من ضلعي  
 غ ث و غ د

ولكن حيث كان قوس ه د في العادة جسما مرنا فانه يكاد أن يكون  
 قائما مع الشدة بقدر انطباق زاوية ث غ د وبذلك تزداد القوة التي  
 يرمى بها السهم ايضا وبهذه الطريقة يمكن لاي انسان ان يستطيع بده رمي السهم  
 بعيدا عنه الا ببعض خطبوات مع يسير من القوة أن يرمى هذا السهم الى ابعاد  
 كبيرة بقوة كافية ويجرح به او يقتل الانسان او غيره من الحيوانات الكبيرة  
 وهالك مثلا آخر يبين لك شدة قوة صغيرة جدا تؤثر بكيفية مماثلة للكيفية التي  
 يثنى بها وتر القوس فنقول

اذا كان الغرض ان الهر به (الى العود الافرنجي) يكون له درجة من الشدة  
 يصل بها الى صوت لا تله لزم أن يستعمل لذلك مفتاح تضاعف به قوة ملاوى  
 الاوتار اربع مرات او خمسا فان الرجلين الشديدين اذا قبض كل منهما بيده

على طرف بعض اوتار من العود وشده حتى يبلغ الغاية لحقهما من ذلك مشقة  
وتعب اذا كانت تلك الاوتار متصلة بهذه الآلة كاتصال الجزء بأكمله  
وقد حسب المهندس بروني شداوتار الپيانو (ای القانون الافرنجی) فوجد  
مجموع شدة انه يزيد على قوة اربعة افراس ومع ذلك فالقوى الصغير الذي اذا مد  
ذراعيه على طول اوتار العود لا يسندهما الا بالمشقة يجدي اصابه اللطيفة  
قوة كافية للقبض على هذا الاوتار والضرب عليهما من منتصفها بانامله بحيث  
يحدث من ذلك نصف اوترين منزويان وهما ضلعا كثيرا الاضلاع (شكل ١٣)  
الذي يدل وتره على الجهد الحادث من اصابع القوي المذكور ومتى فسخ يده  
كان في هذا الجهد قدرة كافية لان تحدث للوتر تحريك الاهتزاز الذي تسمع رسته  
مدة طويلة ما لم ينقطع بالدواسة او ينعدم بين انقسام الاهوية والمقامات  
المتوالية

ولم نذكر الى هنا الا ما يتعلق بمتوازي الاضلاع البسيط للقوى اي الذي لم يتكون  
الامن من كبتين ومحصلتهما

ولنفرض الآن أن هناك ثلاث مركبات مؤثرة في نقطة مادية كنقطة أ  
(شكل ١٤) وليكن  $\overline{AB}$  و  $\overline{AC}$  و  $\overline{AD}$  اجزاء من مستقيم واحد  
دالة طولا واتجاهها على المركبات الثلاثة المذكورة فاذا رسمنا متوازي الاضلاع  
وهو  $\overline{ABDE}$  باعتبار مستقيمي  $\overline{AB}$  و  $\overline{AC}$  كضلعين له كان وتره  
وهو  $\overline{AE}$  دالا على مقدار محصلة القوتين الاوليين واتجاههما بمعنى ان  
الجسم الواقع عليه تأثير قوتي  $\overline{AB}$  و  $\overline{AC}$  معا او قوة  $\overline{AE}$  وحدها  
يقطع مسافة واحدة في اتجاه واحد وزمن واحد

ولتركب محصلة  $\overline{AE}$  الجزئية مع القوة الثالثة وهي  $\overline{AD}$  فيحدث من

المستقيمين الدالين عليهما متوازي الاضلاع وهو  $\overline{AEFD}$  ويكون  $\overline{AF}$   
الذي هو وتر هذا الشكل الجديد دالا بالضرورة على محصلة  $\overline{AD}$  و  $\overline{AE}$   
الا ان التأثير الحادث من  $\overline{AE}$  يكون مكافئا للتأثير الحادث من قوتي  $\overline{AB}$

و  $\overline{ا\theta}$  فاذن يكون التأثير الحادث من قوة  $\overline{ا\phi}$  مكافئاً للتأثير الكلي  
 الحادث من قوى  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\delta}$  الثلاثة  
 ويمكن الوصول الى هذا الحاصل بكيفية اخرى وهى انه متى كانت قوتان  
 كقوتى  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta}$  (شكل ١٥) مؤثرتين في جسم بجسم  $\overline{ا}$   
 فان اثر في القوة الاولى وهى  $\overline{ا\beta}$  وحدها في زمن معلوم فانها تنقله  
 من  $\overline{ا}$  الى  $\overline{ب}$  وان اثر بعدا القوة الثانية وهى  $\overline{ا\theta}$  وحدها  
 فانها تنقله ايضا من  $\overline{ا}$  الى  $\overline{ب}$  بالتوازي لقوة  $\overline{ا\theta}$  بحيث يكون  
 $\overline{ب\theta} = \overline{ا\theta}$  ثم ان اثر في قوة نائلة كقوة  $\overline{ا\delta}$  وحدها فانها تنقله  
 من  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ف}$  بالتوازي لقوة  $\overline{ا\delta}$  بحيث يكون  $\overline{ه\phi} = \overline{ا\delta}$   
 وبالجملة فالجسم المذكور الواصل الى  $\overline{ف}$  بالتأثير المتوالى الحادث  
 من القوى الثلاثة يكون موجودا مع الضبط في النقطة التي كان يصل اليها  
 لو كانت هذه القوى الثلاثة كلها مؤثرة فيه في زمن واحد لاجل نقله  
 وهذه الكيفية لا تغاير الكيفية السابقة الا بكونها دون المتقدمة في الصعوبة  
 وذلك لانه يقتض في الضلع الثالث والرابع من متوازي اضلاع شكل ١٤  
 فاذا كان هنالك عددا من القوى كقوى  $\overline{وا}$  و  $\overline{وب}$  و  $\overline{و\theta}$  الخ  
 (شكل ١٦) المؤثرة في نقطة مادية فان هذه النقطة تنقل في زمن معلوم  
 الى مسافة ابعد من المسافة التي نقل اليها الجسم في صورة ما اذا اثر فيه  
 القوى كل واحدة على حدة ثم مع التوالى لاجل نقله الى اتجاهها الاصلى  
 في الزمن المذكور وحيث نغذ بالتوالى مستقيمتى  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\delta}$  الخ  
 موازية ومساوية في الطول لمستقيمتى  $\overline{وب}$  و  $\overline{و\theta}$  و  $\overline{ود}$  الخ  
 ثم نصل نقطة  $\overline{وا}$  الاولى بنقطة  $\overline{ه}$  الاخيرة من هذه الاضلاع التسلسلية  
 فيكون مستقيم  $\overline{وه}$  دلا على محصلة جميع المركبات الميمنة بمستقيمتى  
 $\overline{وا}$  و  $\overline{وب}$  و  $\overline{و\theta}$  و  $\overline{ود}$  الخ  
 فاذا غلقنا حيث نغذ بمستقيم  $\overline{وه}$  كثير الاضلاع وهو  $\overline{وا\delta\epsilon\zeta\eta\theta\phi\psi\chi}$  هـ و

كان هذا المستقيم  $\overline{د ا}$  على المحصلة الكلية متى كان كل من  $\overline{الاضلاع د ا}$   $\overline{الاعلى}$   $\overline{قوة مركبة}$

فاذا عكست محصلة  $\overline{و ه}$  الى  $\overline{و ه}$  فان هذه القوة المحصلة المضادة للمركبات بدون واسطة تكون موازنة لتلك المركبات ومن هنا الدعوى النظرية اللطيفة المنسوبة الى المهندس لينتز وهي اذا كان هناك قوى بقدر ما يراد واقعة على نقطة مادية وكانت هذه القوى مبينة مقداراً واتجاهها في سمت متتابع باضلاع شكل كثير الاضلاع منتظماً كان او غير منتظم غير أنه يكون تاماً ومغلوفاً فان هذه القوى كلها تكون متوازنة بالضرورة

ويوجد في كثير الاضلاع وهو  $\overline{م ن ح خ ر ض}$  (شكل ١٧) زاوية داخلية  $\overline{ز زاوية ر خ}$  وهذه الزاوية لا بد منها في عمل كثير الاضلاع لان اتجاه

سهم  $\overline{خ ر}$  يدل على الجهة التي ينبغي أن يرسم فيها ضلع  $\overline{خ ر}$  لتكون القوى المتوازنة متعاقبة كلها في جهة واحدة وبالجمله فكل ضلع من كثير الاضلاع يدل على مقدار القوى واتجاهها

وفائدة الكيفية التي اعتبر فيها تركيب القوى هي انها تستعمل ايضا في القوى المؤثرة في مستو واحد او عدة مستويات مختلفة وذلك مهم جداً في كثير من الحالات

وينتج من ذلك انه اذا لم تكن قوى  $\overline{و ا}$   $\overline{و ب}$   $\overline{و ج}$   $\overline{و د}$   $\overline{و ه}$  (شكل ١٦) كلها في مستو واحد لا تكون اضلاع  $\overline{كثير الاضلاع}$  وهو  $\overline{و ا ر ش د خ}$  الموازية لاتجاهات تلك القوى كل نظيره في مستو واحد غير أنه في هذه الصورة تكون محصلة جميع القوى وهي  $\overline{و ه}$  مبينة مقداراً واتجاهها بمستقيم  $\overline{و ه}$  الممتد من نقطة  $\overline{و}$  التي هي مبداء كثير الاضلاع وهو  $\overline{و ا ر ش د خ}$  الى نقطة  $\overline{ه}$  التي ينتهي فيها آخر الاضلاع الدالة على القوى المركبة

وكلاهما عمل كثير الاضلاع وهو  $\overline{وا ر ش د}$  الخ على الورق او على الارض اذا كان هذا الشكل بتمامه في مستو واحد كان عمله سهلا ومتعبا اذا لم تكن اضلاعه التي يتركب منها في مستو واحد

هذا وقد ظهر لنا مما سبق في الدرس الثالث والسابع والثالث عشر من الهندسة في الجزء الاول من التعريفات والقضايا طريقة مختصرة مضبوطة في تحصيل اتجاه المحصلة ومقدارها مهما كان عدد القوى المركبة واتجاهها ومقدارها

وحاصلها انه لاجل تحصيل مسقط مستقيم  $\overline{م ن}$  (شكل ١٨)

الموضوع على مستو بالنسبة الى محوري  $\overline{و س}$  و  $\overline{و ص}$  يكفي أن ننزل من نهايتي هذا المستقيم بعمودين على محوري المسقط المذكور فيكون جزأ

$\overline{م د}$  و  $\overline{م د}$  المحصوران بين هذين العمودين هما المسقطان المطلوبان

فاذا مددنا  $\overline{م م}$  الى  $\overline{ا}$  و  $\overline{م م}$  الى  $\overline{ب}$  فانه يحدث متوازي الاضلاع وهو  $\overline{ا ن ب}$  الذي يمكن اعتبار  $\overline{م ن}$  فيه كقوة محصلة

مركبتها  $\overline{ا م}$  مستقيمية  $\overline{م ب} = \overline{م د}$  و  $\overline{ا م} = \overline{م د}$  حيث

ان هذين المستقيمين الاخيرين متوازيان ومحصوران بين متوازيين آخرين كما تقدم في الدرس الثاني من الهندسة

وما ذكرناه في شان القوة الواحدة يمكن اجراؤه في قوتين او ثلاثة او اربعة

او اكثر من ذلك ومهما كان مقدار القوى واتجاهها فان كل واحدة منها تكون مبينة بمسقطها على محورين متقاطعين

فاذا كان هناك عددا من القوى مثل  $\overline{م ن}$  و  $\overline{ن ح}$  الخ (شكل ١٨)

فانه يكفي أن نأخذ مساطعها على محوري  $\overline{و س}$  و  $\overline{و ص}$  المتقاطعين

ثم نعتبر أن الجسم يتحرك من جهة على  $\overline{و س}$  بقوى  $\overline{م د}$  و  $\overline{د ح}$

و  $\overline{ح خ}$  الخ ومن جهة اخرى على  $\overline{و ص}$  بقوى  $\overline{م د}$  و  $\overline{د ح}$  و  $\overline{ح خ}$  الخ

فيكون التأثير الناتج عن ذلك واحدا دائما لانه حينئذ يكون مستقيما

مخ الفائق لكثير الاضلاع وهو من ح ح خ دالا على محصلة قوى

من و لن ح و ح خ ويكون مسقطاها و هما م غ و م غ  
هما مجموع المساقط الجزئية او فاضلها فاذا كانت قوى م د و د ح و ح غ الخ  
و م د و د ح و ح خ مؤثرة على مستقيم واحد فان محصلتها  
تكون أولا متجهة على هذا المستقيم وثانيا تكون مساوية لمجموع  
سائر القوى المتجهة الى جهة ناقصا مجموع القوى المتجهة الى اخرى تقابلها  
ولاشئ اسهل في العمل من هذا البيان

ولنفرض (مشكل ١٧) جلة من القوى مينة بمستقيمات من

و لن ح و ح خ الخ فاذا اسقطنا هذه المستقيمات على محور وس  
في م د و د ح و ح خ الخ فان قوى م غ و ر ضه يكون  
دفعهما الى جهة مضادة لجهة م د و د ح و ح خ الخ وعلى ذلك  
تكون المحصلة مساوية م د + د ح + ح غ - ح غ + ر ضه  
ومن البديهي ان م د + د ح + ح غ هو م غ وان ح غ  
- ر ضه هو ح غ ضه فاذن تكون المحصلة الكلية مساوية م غ + ح غ ضه

اعني م ضه وهذا الجزء المحوري هو مسقط م ص الذي يغلظ كثير  
الاضلاع للقوى وبناء على ذلك يكون هو الثمال على محصلة من

و لن ح و ح خ الخ

فاذا كانت جميع قوى من و لن ح و ح خ الخ (شكل ١٨)  
في مستوى محوري وس و وص فلن التحرك كان الحادثة من قطعة  
م على محوري المسقط تكون دالة دلالة تامة على التحرك كان الحادثة  
من م بواسطة قوى مركبة ايا كانت كهوى من و لن ح

و ح خ الخ

ولكن اذا لم تكن القوى المذكورة في مستوى المحورين لزم اخذ ثلاثة محاور عمودية على بعضها بأن نأخذ مثلاً مستويارأسياً ومستويين اثنين احدهما متجه من الشمال الى الجنوب والاخر من المشرق الى المغرب وعلى ذلك اذا انزلنا على المحاور باعمدة من نهايتي كل مستقيم دال على قوة كانت المساقط دالة على ثلاث قوى بحيث يؤول الامر الى ان النقطة المادية المتحركة بالتوالي على اتجاه كل من القوى المذكورة تصل الى الوضع الذي كانت تصل اليه لو كانت متحركة بقوة واحدة اصلية وكذلك يتضح بواسطة متوازي الاضلاع تحليل قوتين وتركيبهما على مستوى ويتضح ايضا بواسطة متوازي السطوح تحليل وتركيب ثلاث قوى في الفراغ كما تقدم في الدرس السابع من الهندسة الذي نكلمنا فيه على متوازيات السطوح

وحينئذ اذا مبدنا وتر  $\text{أ غ}$  (شكل ١٩) من زاوية  $\text{أ}$  الى زاوية  $\text{غ}$  المقابلة لها فمن البديهي انه اذا اخذنا الوتر المذكور مع اضلاع  $\text{أ ب}$  و  $\text{أ ث}$   $\text{ب ه}$  و  $\text{أ د} = \text{و غ}$  الثلاثة فحصل من ذلك كثير اضلاع  $\text{أ ب ه غ}$  مغلوفاً من سائر جهاته فاذن يمكن أن نعتبر ان  $\text{أ غ}$  الذي هو ضلع كثير الاضلاع المذكور يكون دالاً مقداراً واتجاهاً على قوة  $\text{أ غ}$  المتوازنة مع القوى الثلاثة الميمنة على وجه التناظر مقداراً واتجاهاً بمستقيمت  $\text{أ ب}$  و  $\text{أ ث}$  و  $\text{أ د}$

فعلى ذلك اذا كانت قوة  $\text{أ غ}$  مثلاً تكفي في ثقل نقطة  $\text{أ}$  الى نقطة  $\text{غ}$  في زمن معلوم فان قوة  $\text{أ ث}$  تنقل في زمن مساوٍ لهذا الزمن النقطة المذكورة من  $\text{أ}$  الى  $\text{ب}$  ثم تنقل كذلك قوة  $\text{أ ث}$  في زمن مساوٍ له نقطة  $\text{أ}$  من  $\text{ب}$  الى  $\text{د}$  وكذلك قوة  $\text{أ د}$  تنقل في زمن مساوٍ له ايضاً



نقطة ١ من ٥ الى غ

فاذن اذا كانت القوى الثلاثة الميئة بمسقيات  $\overline{AB}$  و  $\overline{AC}$  و  $\overline{AD}$  مؤثرة معا فانها تنقل ١ الى غ في عين الزمن الذي تكون فيه كل من

هذه القوى مؤثرة على حدها بالتوالي والذي تكون فيه محصلة  $\overline{AG}$  مؤثرة دون غيرها

ولننبه هنا على انه اذا اطلق اسم محاور المسقط على مسقيات  $\overline{AB}$  و  $\overline{AC}$  و  $\overline{AD}$  فان اجزاء  $\overline{AB}$  و  $\overline{AC}$  و  $\overline{AD}$  تكون بالضبط على هذه

المحاور مساقط لوتر  $\overline{AG}$  الذي هو محصلة تلك القوى الثلاثة

ثم ان هذه الطريقة التي سلكتها وان كانت مطولة الا انه لا بد منها حتى يعرف ان الخواص التي يستصعبها المبتدى وبها يها انما هي من قبيل المبادئ

واذا حللنا كلا من القوى التي يمكن وقوعها على جسم واحد الى قوتين موازيتين لمحورين معلومين او الى ثلاث قوى موازية لثلاثة محاور معلومة فانه يحصل من ذلك كثير من القوى الموازية لكل محور بقدر ما يوجد من القوى المختلفة الواقعة على الجسم مهما كان مقدارها واتجاهها وبذلك يؤول تأثير القوى التي لا مشابهة بينها من حيث اتجاهاتها الى تأثير القوى المتوازية بلا واسطة

فاذا كان لساير القوى المتحصلة من التحليل المذكور محصلة واحدة مارة بمركز ثقل الجسم فانها تكاد تسير الجسم المذكور الى الامام على خط مستقيم بدون دوران كما لو كانت محمولة الى قوة واحدة مساوية لمجموعها وموازية لاتجاهها المشترك بينها

واذا كان لساير القوى المذكورة محصلة غير مارة بمركز الثقل المتقدم فان هذه المحصلة تؤثر في الجسم تأثيرا يديره ويلزم الاعتناء بالبحث عن كيفية حصول

هذا التحرك فله فرض أن قوة  $\overline{AS}$  لا تكون مارة بمركز الثقل وهو  $\overline{G}$  (شكل ٢٠) فمن حيث أن  $\overline{G}$  عمود عمدة من نقطة  $\overline{G}$  الى  $\overline{AS}$  الذي هو اتجاه تلك القوة فان تحرك الجسم لا يتغير متى اضيف اليه قوة واحدة كقوة  $\overline{G}$  مساوية ومساوية لقوة  $\overline{AS}$  وقوتان كقوتى  $\overline{AS}$  و  $\overline{AS}$  الموازيان لقوة  $\overline{G}$  المتجهتان بالتضاد والمساوية كل واحدة منهما لنصف  $\overline{G}$  والموضوعتان على وجه بحيث تكون  $\overline{G} = \overline{A} = \overline{G}$  لان قوة  $\overline{G}$  متوازنة مع  $\overline{AS}$  و  $\overline{AS}$  غير اربعة قوة  $\overline{AS}$  لما كانت نصف قوة  $\overline{AS}$  وكانت متجهة الى جهة مضادة لها اعدمت نصف  $\overline{AS}$  وبناء على ذلك يكون الجسم متحركاً بثلاث قوى احدها قوة  $\overline{G}$  المارة بمركز ثقل الجسم والمساوية لقوة  $\overline{AS}$  والثانية نصف  $\overline{AS}$  المؤثرة في جهة  $\overline{AS}$  والثالثة  $\overline{AS}$  المساوية لنصف  $\overline{AS}$  والمتجهة الى جهة مضادة لها .

وحيث كانت القوتان المساويتان لنصف قوتى  $\overline{AS}$  و  $\overline{AS}$  بعيدتين بالسوية عن مركز الثقل وهو  $\overline{G}$  كانتا مؤثرتين تأثيراً به يدور مركز الثقل المذكور بدون أن يسير الى جهة اكثر من اخرى حيث لا مقتضى لكون احدى القوتين المذكورتين المتساويتين المتجهتين بالتوازي الى جهتين متقابلتين تجذب المركز المذكور الى جهتها زيادة عن القوة الاخرى فعلى ذلك أولاً لا يتقدم مركز الثقل ولا يتأخر بواسطة تأثير نصف قوتى  $\overline{AS}$  و  $\overline{AS}$  وثانياً يكون هذا المركز منقولاً بتأثير قوة  $\overline{G}$  على خط مستقيم بالنسبة الى تأثير قوة مساوية لقوة  $\overline{AS}$  وموازية لها وبناء على ذلك اذا كان هناك عدة قوى مؤثرة في جسم له صورة ما وحللتنا اولاً

جميع تلك القوى بالتوازي الى محاور معلومة ثم عيننا ثانيا المصلحة الكلية للقوى المذكورة لاجل نقلها بالتوازي الى مركز الثقل فان هذا المركز يتحرك تحركا مستقيما كالمكانت تلك القوى واقعة كلها على مركز الثقل المذكور بدون واسطة وهذه هي القضية الشهيرة المتعلقة بحفظ مركز الثقل وتسميته بذلك مما لا بد منه لاسيما في هذه الخاصية وهي أن التحركات الداخلية الحادثة في الجسم من تأثير اجزائه بعضها في بعض او من مقاومتها لبعضها لا تغير شيئا من تحرك مركز الثقل بالنسبة لنقط الفراغ الخارجية

ثم ان لعب البليارد (وهي تحتة كبيرة يلعب عليها بأكبر صغيرة من العاج اوسن الفيل) يؤخذ منه عدة امثلة متنوعة واضحة جدا وخواص التحركات الحادثة للاجسام من تأثير قوة غير مارة بمركز ثقلها فاذا دفع البيل (وهي كرة صغيرة من العاج اوسن الفيل) على غير اتجاه مركزه بل على يمينه مثلا فانه يسير اولا الى الامام بالسرعة التي كان يسيرها لو دفع على اتجاه مركزه وثانيا يكون له تحرك مستدير من اليمين الى الشمال وذلك مع السير الى الامام فاذا دفع من فوق مركز الثقل فانه يسير الى الامام ايضا مع السرعة التي كان يسير بها لو دفع على اتجاه مركزه ويكون له تحرك دوران من فوق الى تحت وذلك ايضا مع سيره الى الامام

وقد يكون التأثير بخلاف ذلك اذا وقع البيل على شمال مركز الثقل او تحتة فاذا دفع من تحت مركز الثقل فان المقاومة الحادثة من احتكاك سطح البليارد بالبيل تكون متزايدة واذا دفع من تحت المركز وكان ذيل قضيب الدفع مرفوعا فانه يسير مع البطيء كالمكان كان فيه مؤثرا بالتوازي للبليارد وحيث يمكن ان سرعة الدوران تنقله الى الغاية التي لا تنعدم فيها السرعة المذكورة بتجاهها بسبب الاحتكاك المذكور عند انعدام سرعة البيل المتوالي وزوالها بالكلية وحيث كانت مقاومة سطح البليارد مستمرة دائما كالقوة المعطلة كان بعض هذه المقاومة منقصة لسرعة دوران البيل والبعض الآخر مؤثرا كالمكان منقولا الى مركز البيل المتأخر بذلك البعض وهذا هو السبب في انه يمكن من اول دفعة

من ذيل قضيب البليار تقديم البيل ثم تأخير  
وهناك تأثيرات مشابهة لتأثيرات لعب البليار توجد في تحرك كل المدافع  
والقناير ويحصل منها فوائد عظيمة جدًا معرفتها من أهم الأشياء في فن الحرب  
وهي الغرض الأصلي من فن الطوبجية

\*(الدرس السادس)\*

في بيان الآلات البسيطة وهي الحبال والقناطر المعلقة وعدد خيول العربات  
وادوات السفن ولوازمها وما أشبه ذلك

يطلق اسم الآلات على الأجزاء المادية المجمعة المستعملة لنقل أي قوة من  
القوى بأن يغير اتجاهها أو سرعتها أو المسافة الأفقية التي يقطعها الجسم  
في زمن معلوم

والآلات البسيطة سبع ومنها تتألف جميع الآلات المركبة وهذه الآلات  
البسيطة هي الحبال والرافعة والبكر والملفاف (أي المنجنيق) والمستوى المائل  
والبريمة والخابور وسدين كلاهما تفصيل على حسب ما تقتضيه أهمية  
موضوعه ولنتسرع في ذكرها على هذا الترتيب فنقول

\*(بيان الحبال)\*

قد فرض المهندسون أولاً لاجل سهولة معرفة خاصية الحبال المستعملة  
لنقل القوى أنها آليّة وغير قابلة للامتداد ومجردة عن التناقل ثم نظر والمالزم  
اعتباره فيها من شدّها كثيراً أو قليلاً ومدّها وتناقلها فبحثوا (بالنظر  
والتجربة) عن التغيرات التي يمكن عرّوضها للعوامل الأصلية بخواص  
المادة التي تتركب منها الحبال المذكورة

ثم إن تحويل المسائل الصعبة إلى أصولها السهلة ليس إلا كيفية عقلية بها  
يتّوى الفهم السقيم وتسهل وسائط العمل فلذا آثرناها في البحث عن خواص  
الحبال وسائر الآلات البسيطة

فلنفرض إذن حبلًا على غاية من اللين غير قابل للامتداد ومجردة عن التناقل  
ثم نبداً بإيقاع قوة واحدة على كل من طرفي هذا الحبل ونفرض أن هاتين

القوتين الشاذتين للجبلى في جهتين متقابلتين متساويتان فبتأثيرهما يكون  
الحبل مشدودا شدة مستقيما وطرفاه على اعظم بعد ممكن فعلى ذلك تكون القوتان  
المذكورتان متوازيتين اذ لا داعى لكون الحبل المشدود من طرفيه يتقدم  
الى جهة اكثر من اخرى

فاذا ان هناك قوة ثالثة شاذة للجبلى في جهة احدى القوتين الاوليين  
فان هاتين القوتين بعد ما ن بعضهما ويكون تحرك الحبل من جهة القوة الثالثة  
فقط كما لو كانت القوتان الاوليان لم يوجد ااصلا وهذا التحرك الحادث على اتجاه  
الحبل لا يمنع من أن يكون على خط مستقيم فاذا لا يكون الحبل مشدودا  
الابالقوة الثالثة واما القوتان الاوليان المتوازيتان فلا يتحصل منهما الا هذا  
التوازن الناشئ عن شد كل منهما للجبلى

ونتيجة ذلك تكون واحدة مهما كان طول الحبل ويؤخذ من ذلك ان الشد  
الحادث يكون ايضا واحدا في كل من نقط الحبل التى هى ث و آ الخ  
و بالجملة فلاجل معرفة شد الحبل من نقطة منه كنقطة ث (شكل ١)  
نفرض ابقاء قوتى آس و بص على تلك النقطة وكذلك لاجل  
معرفة شدة من نقطة آ نفرض ابقاء قوتى آس و اص عليها  
ولا يتغير تأثير هاتين القوتين مهما كانت نقطة وقوعهما

وينتج من ذلك ان شد الحبل من نقطة ث مثلا يكون (كما تقدم قريبا)  
واحدا كما في طرف آ فاذا ن يكون الشد واحدا في جميع اجزاء الحبل  
ولنفرض الان انه يكون للجبلى في جميع طوله قوة ثابتة ماعدا نقطة واحدة  
تكون اضعف من غيرها فبازداد القوتين المتضادتين تدريجيا بكمية واحدة  
يتوصل الى حد يكون فيه الشد (المفروض انه واحد فيما عدا النقطة المذكورة)  
قليل لاجل نقص الحبل في النقطة الضعيفة المذكورة دون غيرها من النقط  
الاخرى فاذا ن يحصل نقص الحبل في هذه النقطة و يكون التوازن معدوما  
وهذه الكيفية هى التى تستعمل في القنون مع الضبط لقياس قوة الحبال فاذا اريد  
استعمال الحبال في تثبيت الاشياء التى ينبغي المحافظة على امساكها وفى تعليقها

فلا بد من تحقق أن هذه الجبال تفعل ما يعرض لها من المجهودات العظيمة بدون تقص ولا انقطاع وعلى ذلك فيلزم أن نعرف من مبدء الامر المقاومة التي تقبلها تلك الجبال او القنن المتخذة من الحديد المستعملة الآن عند البحارة الفرنسية لانه اذا نظر في كل كبة من السلسلة الى رداءة الحديد المتخذة منه او رداءة صناعته يكتفى ادى قوة في جعل القنة عرضة للكسر كما اذا كانت الكلبات كلها على هذا النسق

واذا كان الجبل قصيرا قلت الموانع التي تمنعه عن أن يكون في بعض نقطه اضعف منه في البعض الآخر واذا اخذنا طرفي جبل غير متساويين في الطول وشدناهما شدا متساويا فان الطرف القصير منهما يكون قابلا لتحمل جهد عظيم من غير انقطاع اكثر من الطرف الطويل ولنفرض ان كلاما من الطرفين يقع عليه قوى متعددة متبدلة عن القوة الواحدة

فلتكن  $A$  و  $B$  و  $C$  و  $D$  (شكل ٢) هي القوى المؤثرة في الجبل من احد طرفيه و  $B'$  و  $C'$  و  $D'$  هي القوى المؤثرة فيه من الطرف الاخر فيمكن ابدال قوى  $A$  و  $B$  و  $C$  و  $D$  الخ بقوة واحدة تكون محصلة لها وكذلك تبدل قوى  $B'$  و  $C'$  و  $D'$  الخ بقوة واحدة تكون ايضا محصلة لها ثم نعين تلك القوة بموجب القوانين الاعتيادية المتعلقة بتركيب القوى فترسم كثيرا اضلاع تكون محصلة مساوية وموازية للمستقيبات الدالة على جملة القوى الاولى وكثيرا اضلاع آخر تكون محصلة مساوية وموازية للمستقيبات الدالة على جملة القوى الثانية ويكون مستقيما  $AS$  و  $BS$  الغالقان لكثيري الاضلاع المذكورين دالين على المحصلتين ويلزم لاجل التوازن ان تكون المحصلتان متجهتين الى جهتين متضادتين على اتجاه جبل  $AB$  وأن يكونا متساويين

فإذا لم تكن القوتان متساويتين حصل التحرك في جهة كبراهما وتكون  
السرعة على نسبة منعكسة لجسم الحبل المعلق للتحرك وهكذا ( كما تقدم  
في الدرس الثاني )

\* ( تطبيق ما تقدم على ضرب النواقيس ) \*

النواقيس التي تضرب في الكائنات مشدودة بحبل أ ب الرأسى  
( شكل ٣ ) فإذا كان الناقوس ضمناً بحيث لا يمكن لشخصين أو ثلاثة  
ضربه مع السهولة بشدهم جميعاً للحبل المذكور فإنه يربط في الطرف الأسفل

من حبل أ ب الأصلي جبال صغيرة كجبال أ س و أ س و أ س الخ  
ويقبض كل منهم على هذه الجبال ويشدونها كي يحدث للناقوس التحرك  
الموافق له ولاجل تحصيل المحصلة يكفي عمل كثير الاضلاع وهو

أ س س الخ الذي تدل اضلاعه وهي أ س و س س و س س الخ  
مقداراً واتجاهاً على قوى أ س و أ س و أ س الخ

وبعد مستقيم أ س بين نقطة أ ونهاية الضلع الأخير يعلق كثير الاضلاع  
للقوى الذي يكون فيه هذا المستقيم دال على المحصلة وبالجمله فيلزم في الصورة  
التي نحن بصدد هأن تكون هذه المحصلة في اتجاه حبل أ ب الرأسى

ويقف عادة ضاربو الناقوس المتقاربون في القوة على شكل دائرة ويكونون  
على بعد واحد من بعضهم بحيث يكون مركز هذه الدائرة في الوضع الرأسى  
لحبل أ ب وبهذا الوجه تتر محصلة قواهم ضرورة بمستقيم أ ب

\* ( بيان الكبش ( أى الشامردان ) وهو الآلة المعتدة لدق الخواوير ) \*

ما ذكرناه في صورة ضرب النواقيس يجري أيضاً إذا اريد أن يشد بحبل  
صغيرة الحبل الأصلي الذي يحرك الكبش المستعمل لدق الخواوير وقد غلب  
على هذه الآلة اسم آلة الضرب لأنها تضرب كناقوس الكنيسة الضخم ولاجل  
الوقوف على حقيقة هذه الآلة يلزم معرفة خواص البكرات

ولم تتكلم الى هنا الاعلى الجبال المشدودة من اطرافها فقط ولنفرض زيادة على ذلك انها تكون مشدودة من نقطة متوسطة فنقول

ليكن  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  (شكل ٤) هما القوتان الواقعتان على  $\overline{A}$  و  $\overline{B}$  اللذين هما طرفا جبل  $\overline{AB}$  و  $\overline{SZ}$  هي القوة الواقعة على نقطة  $\overline{S}$  المتوسطة فتكون هذه القوى الثلاثة متوازنة عند نقل  $\overline{BS}$  الى  $\overline{S}$  و  $\overline{AS}$  الى  $\overline{S}$  فيكون  $\overline{SZ}$  الذي هو وتر متوازي الاضلاع الحادث على ضلعي  $\overline{S}$

و  $\overline{S}$  مساويا ومقابلا لقوة  $\overline{SZ}$  على وجه الصحة والضبط ولنفرض أن قوة  $\overline{AS}$  (شكل ٥) الميمنة بمستقيم  $\overline{S}$  وقوة  $\overline{BS}$  الميمنة ايضا بمستقيم  $\overline{S}$  يكونان متساويتين فاذن يكون متوازي الاضلاع وهو  $\overline{SZ}$  شكلا معينا وتكون زاويتا  $\overline{SZ}$  و  $\overline{SZ}$  متساويتين بمعنى أن مستقيمي  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  يحدث عنهما مع انجاء محصلة  $\overline{SZ}$  زاوية واحدة

ولكن تكون قوة  $\overline{SZ}$  قريبة او بعيدة عن  $\overline{BS}$  اكثر من  $\overline{AS}$  على حسب كبر  $\overline{BS}$  او صغره عن  $\overline{S}$  وذلك متعلق بصورة مثلثي  $\overline{SZ}$  و  $\overline{SZ}$  المتساويين

فاذا كان هنالك اربع قوى كقوى  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  و  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  (شكل ٦) واقعة على تقاطعي  $\overline{S}$  و  $\overline{SZ}$  يلزم أن يكون التوازن حاصلًا حول كل من النقطتين المذكورتين وهلم جرا فاذا كان حول نقطة  $\overline{S}$  متلاقوتا  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  اللتان يلزم



أن تكون محصلتهما متجهة على امتداد  $\overline{ثث}$  ودالة على الشد الكلى  
 الحادث من هاتين المركبتين على حبل  $\overline{ثث}$  الصغير فبرسم متوازي  
 الاضلاع وهو  $\overline{ثص}$  زمر الذي فيه  $\overline{ثص} = \overline{أس}$  و  $\overline{ثص}$   
 $= \overline{بص}$  يحدث أن  $\overline{ثز}$  يساوي شد حبل  $\overline{بث}$   
 وكذلك نقطة  $\overline{ث}$  فانه اذا رسم متوازي اضلاع  $\overline{ثص}$  زمر  
 الذي فيه ضلع  $\overline{ثص} = \overline{أس}$  و  $\overline{ثص} = \overline{بص}$   
 يحدث أن  $\overline{بثز}$  يساوي شد الحبل ولاجل توازن  $\overline{ثث}$  يلزم  
 أن يكون شدا  $\overline{ثز}$  و  $\overline{ثز}$  المتضادان متساويين

ولننبه هنا على ان تعيين شدد  $\overline{اث}$  و  $\overline{ثث}$  و  $\overline{ثأ}$  الخ المتنوعة  
 لاعلاقة له بطول اجزاء  $\overline{اب}$  و  $\overline{بث}$  و  $\overline{ثد}$  الخ وانه عند  
 زيادة هذا الطول او نقصه تتغير حالة الشدود ما عدا توازنها فاذن يمكن  
 أن يفرض انعدام واحد منها او اكثر بدون أن ينعدم ذلك التوازن وبناء  
 على ذلك اذا كان هنالك عدة قوى واقعة على نقط متنوعة من حبل واحد  
 فبايقا عليها كلها على نقطة واحدة منه بدون تغيير مقدارها واتجاهها  
 مع نقلها بالتوازي لنفسها وتخليصها من الحبل المذكور تكون متوازنة  
 فاذا كان هنالك حبل مشدود بقوى واقعة على نقط مختلفة حدث عنه شكل  
 كثير الاضلاع ولهذا يسمى كثير الاضلاع الجبالي ويلزم أن تكون القوى  
 المؤثرة حول كل نقطة متوازنة مع الشدود الحادثة من اضلاع كثير الاضلاع  
 الذي تكون هذه النقطة رأسه

وتم امثلة عديدة تتعلق بتوازن كثير الاضلاع الجبالي وذلك اذا علمنا ان اتصال  
 في حبل لا يكون طرفاه على رأس واحد وسيظهر لك من القناطر المعلقة التي  
 سنتكلم عليها في آخر هذا الدرس مثال آخر في شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع

الحبالية وفي شأن فائدة تقويماتها

ولتكن  $\overline{اصه}$  و  $\overline{بـز}$  و  $\overline{بـش}$  و  $\overline{دـون}$  (شكل ٧) قوى  
 رأسية فتكون محصلتها وهي  $\overline{رـر}$  رأسية ايضا مساوية لمجموعها  
 ولا مانع أن تكون هذه المحصلة معينة بدون واسطة بالدعوى النظرية المتعلقة  
 بالقوى المتوازية ولاجل حصول التوازن في كثير الاضلاع الحبالية يلزم  
 أن قوة  $\overline{رـر}$  الدالة على مجموع قوى  $\overline{اصه}$  و  $\overline{بـز}$  و  $\overline{بـش}$  و  $\overline{دـون}$   
 توازن شد طرفي الحبل اللذين هما  $\overline{أ}$  و  $\overline{د}$  وذلك يقتضى أولا أن  
 انجاهى قوتى  $\overline{اصه}$  و  $\overline{دـع}$  المتطرفين يتقاطعان في نقطة و على  $\overline{رـر}$   
 التي هي محصلة القوى المتوازية وثانيا انه اذا اخذنا  $\overline{وسه} = \overline{اصه}$   
 و  $\overline{ورع} = \overline{دـع}$  على مستقيى  $\overline{واسه}$  و  $\overline{ودع}$  فانوز متوازي  
 الاضلاع الحادث على هذين الضلعين يكون مساويا  $\overline{رـر}$  مساواة صحيحة  
 ويكون رأسيا كسائر القوى المركبة

واما الشدود الحاصلة من اجزاء حبل  $\overline{أبشـد}$  المتنوعة فانه يسهل  
 دائما تعيينها باعتبار أن كل قوة موالية مثل  $\overline{اصه}$  و  $\overline{بـز}$  الخ كوتر  
 متوازي الاضلاع الذى ضلعا ممتدان وهما  $\overline{اصه}$  و  $\overline{أب}$  او  $\overline{أب}$   
 و  $\overline{بـث}$  او  $\overline{بـث}$  و  $\overline{شـد}$  الخ فمكون اضلاع هذا الشكل  
 دالة على شدود الحبال الصغيرة وبهذا الوجه يعين شد طرفى كل حبل صغير  
 كحبال  $\overline{أب}$  و  $\overline{بـث}$  و  $\overline{شـد}$  فاذا كان التوازن باقيا على حاله  
 لزم ان يكون هذا الشد باقيا على حاله ايضا في طرفى كل حبل صغير لان الحبل  
 بدون ذلك يتقدم الى جهة الشد الاكبر كما لو اثر فيه مباشرة قوتان  
 غير متساويتين

ولنتكلم هنا على تناقل الحبال مبتدين بالحبل المثبت من طرفيه والمخلى وقسه  
 معلقا فنقول

يمكن أن نعتبر ان هذا الحبل مركب من عدد غير محدود من المستقييات الصغيرة



واحدة سواء كان هذا المخفض جبلا لينا متواصلا او كان سلسلة كبيرة كانت  
او صغيرة هي كبة من كلبات صغيرة فيحدث من هذه السلسلة شكل كثير  
الاضلاع مؤلف من عدد غير محدود من الاضلاع الصغيرة جدا وذلك هو  
شرح هذه المسئلة وقد اطلق اسم السلسلة على المخفض الذي تتبعه تلك السلسلة  
او جبل على غاية من اللين مثبت من طرفيه ومخلى وقسمه لتأثير التناقل  
ويكثر استعمال هذه السلسلة في فنون الميكانيكا وغيرها من الفنون  
المستظرفة

وتكون القن او السلاسل المشار اليها برمز  $\overline{AB}$  (شكل ١٤)  
التي بها توازن السفن مع قوى الهواء والتيار على صورة سلاسل كثيرة  
الانحناء او قليلته على حسب شدتها ومن هذا القبيل جبال السحب اى  
اللبانات التي يشدها الرجال او الخيول بواسطة جبال صغيرة مربوطه  
في نقط مختلفة من الجبال الاصلية ثم ان شد الجبال الكبيرة والصغيرة  
والنقل وانعدام قوى الجر كل ذلك مسائل مهمة تحل بواسطة القواعد  
المذكورة في هذا الدرس ولنزد استعمال تلك السلاسل نوع اوضح فيما يتعلق  
بادوات السفن فنقول

يلزم أن تنسب الى السلسلة او الى كثير الاضلاع الجبالى توازن الحواشات  
وهى الجبال الممدودة من احد شاطئى الانهر الى الشاطئ الآخر وهى  
مربوطة في نقط مرتفعة ارتفاعا كافيا بحيث تتر من تحتها السفينة  
ذات الصارى ويمكن أن يجرى على الحواش (بواسطة البكر) الطرف  
الاعلى من الجبل الذي يكون طرفه الاسفل ممسكا للمركب وهذا الجبل  
اياما كان وضعه يقع عليه شدة ناشئ عن التأثير الحادث في السفينة من التيار  
وقد يكون هذا الشد متوازنا مع شدين آخرين حادثين من جزى الحواش  
الموضوعين على عين الجبل المسلك للمركب وعلى شماله ولاجل معرفة القوة

التي تكون لذلك الجبل او الخواش يلزم عمل حسابات الشدود الكبيرة الواقعة عليه وكيفية ذلك تعلم من خواص السلسلة وكثير الاضلاع الجبالي المتقدمين

واهم تطبيقات السلسلة والجبال على العموم هو ما ينسب للقناطر المعلقة (شكل ١٥) غير أنه يلزم قبل تعريفها أن نذكر الخواص الهندسية المتعلقة بالسلسلة لانها كثيرة القوائد فنقول

اذا كان  $A$  و  $B$  اللذان هما طرفا سلسلة  $AB$  (شكل ٩) موضوعين على ارتفاع واحد كانت السلسلة المذكورة التي هي على صورة المنحنى متماثلة بالنسبة الى رأسي  $C$  الممتد من نقطة  $D$  التي هي منتصف  $AB$  وحيث قد ادعى ان يكون جزء الشمال وهو  $AB$  يخالف في الصورة والمقدار جزء اليمين وهو

$BC$

وقد يحدث من الاكليل وخيوط الذهب والحبر والقباطين والاهذاب والازهار المعلقة في نقط ليست على رأسي واحد سلاسل يتنوع تماثلها بتنوع الانحناءات والاضلاع وظرافة هذا التنوع من اسرار الفن الذي الغرض الاصلي منه زخرفة المنازل والعمارات العامة ولا بد للنقاشين والمصورين من معرفة الانحناء الذي يكون للسلسلة حتى يجعلوا الاشياء المزخرفة على شكل محيطات حقيقية

فاذا اعتبرنا أن نقطة  $E$  تكون ثابتة (شكل ٩) وحذفنا  $AD$  فان الجزء الباقي وهو  $EB$  لا يكون خارجا عن التوازن فاذا مددنا حيث مستقيم  $EF$  الافقي واخذنا نقطة  $F$  عوضا عن نقطة  $B$  وجعلناها نقطة ثابتة فان جزء  $EF$  يكون متماثلا

مع  $BC$

فاذا لم يكن طرفا السلسلة ( التي هي على صورة المنحنى ) وهما  $\overline{هـ}$  و  $\overline{ب}$  موضوعين في ارتفاع واحد فأما اذا مددنا من طرف  $\overline{هـ}$  الذي هو دون الطرف الآخر في ارتفاع خط  $\overline{هـ ف}$  الافقى كان جزء السلسلة وهو  $\overline{هـ ث ف}$  الموضوع تحت الافقى المذكور متماثلا بالنسبة لعمود  $\overline{ش غ}$  النازل من نقطة  $\overline{غ}$  التي هي منتصف  $\overline{هـ ف}$  وكانت نقطة  $\overline{ث}$  مخفضة عن جميع نقط السلسلة المذكورة

وحيث ان منحنى  $\overline{هـ ث ف}$  متماثل بالنسبة لرأس  $\overline{ش غ}$  فان مركز ثقل هذا المنحنى يكون على الرأس المذكور ولتد مستقيمي  $\overline{هـ و}$  و  $\overline{ف و}$  مماسين للمنحنى المذكور في نقطتي  $\overline{هـ}$  و  $\overline{ف}$  ثم نأخذ جزء  $\overline{و ر}$  الرأس ونجعله دالا على ثقل ذلك المنحنى فتكون اضلاع متوازي الاضلاع

وهو  $\overline{و ر ر}$  دالة على الشدود الحاصلة للبل في نقطتي  $\overline{هـ}$  و  $\overline{ف}$  وليكن المطلوب الآن الشد الحاصل في نقطة  $\overline{ث}$  التي هي اخفض نقط المنحنى فاذا مددنا  $\overline{ش و}$  و  $\overline{و ب}$  ( شكل ١٠ ) مماسين للمنحنى في نقطتي  $\overline{ث}$  و  $\overline{ب}$  فان مركز ثقل منحنى  $\overline{ث ب}$  يكون على رأسي  $\overline{و غ}$  المار بنقطة  $\overline{و}$  واذا برسمنا على  $\overline{و غ}$  و  $\overline{و ث}$  و  $\overline{و ب}$  الممتدة متوازي الاضلاع وهو  $\overline{و ح خ ض}$  فتدل  $\overline{و ح}$  على ثقل قوس  $\overline{ث ب}$  كلن  $\overline{و ض}$  دالا على الشد الحاصل في نقطة  $\overline{ث}$  وخط  $\overline{و خ}$  دالا على الشد الحاصل من المنحنى في نقطة  $\overline{ب}$  لكن يرى في متوازي الاضلاع المذكور أن  $\overline{ح خ} = \overline{و ض}$  وحيث ان  $\overline{و ح ض}$  مثلث قائم الزاوية فان  $\overline{و خ}$  يكون دائما اطول من  $\overline{و ض}$

بمعنى أن الشدة الحاصل من المنحنى في نقطة ب يكون دائما اقوى من الشدة الحاصل للمنحنى في نقطة ث

وكذا صعد الانسان الى اعلى حدث من مماس ب و خ مع الخط الرأسي زاوية حادة جدا وبقى طول وض على حاله وازداد طول وح كثقل

المنحنى واخذ ضلع وخ في الازدياد فعلى ذلك يكون شدة المنحنى عظيما جدا في نقطة الكثيرة الارتفاع

فاذا فرضنا حينئذ أن المنحنى له قوة واحدة في جميع طوله فان اول ما يحصل الانقطاع يكون في النقطة الاكثر ارتفاعا من غيرها فلو فرضنا أن المنحنى يقاوم في هذه النقطة لكافة مقاومته في النقطة المتوسطة بالطريق الاول

فاذا امتد في مثلث ح و ض (شكل ١٠) القائم الزاوية ضلع وح الذي هو ضلع زاوية و القائمة وبقى الضلع الآخر هو وض على حاله

فان الضلع الاكبر هو ح و ض يقرب شيئا فشيئا من مساواة ح و ولنفرض الان أن الشكل الذي يدل عليه منحنى ث ب (شكل ١١) و (شكل ١٢) يزيد مداره او ينقص دفعة واحدة مع التناسب في جميع اجزائه فنقول ان التوازن يكون تابنا لا يتغير اصلا وان صورة المنحنى بهذا السبب لا تتغير ايضا

وذلك لانه في المنحنى الجدي اذا كانت نقطة م مثلا في وضع يشبه وضع نقطة م في المنحنى الاول حدث من مماس م و مع رأسي د و ث زاوية التي تحدث من مماس م و مع رأسي د و ث وحيث ان طول المنحنيين مناسب لبعدي ب و د فان نسبة ثقل منحنى وح الى ثقل منحنى وع تكون مساوية لنسبة شدة وخ الى شدة وع الحاصلين للمنحنيين في تقاطع م و م

فعلى ذلك يكون الشدان متزايدين من جميع الجهات في نسبة واحدة مع ثقل  
الحبل ويكون وضعهما في هذه الحالة مشابها لوضعهما في الحالة الاولى فيكونان  
متوازنين عند تأثيرهما في منح صورته واحدة

ولذلك قاعدة اصلية وهي ان الشدين الحاصلين للمخنيين المتشابهين في نقطتين  
متشابهتي الوضع تكون نسبتها كنسبة البعدين المتشابهين او المتقابلين  
في هذين المخنيين

فبناء على ذلك اذا قابلنا بين مخنيين متشابهي الشكل وكان احدهما اصغر من  
الاخر مرتين واثقل منه مرتين او اصغر منه ثلاث مرات واثقل منه ثلاث  
مرات او اصغر منه اربع مرات واثقل منه اربع مرات فان الشد الحاصل  
لهذين المخنيين في نقطتين متشابهتي الوضع يكون واحدا

ولتقابل الان بين الشدين الحاصلين لمخنيين غير متشابهين فلا نفرض  
الامخنيات قليلة الانحناء جدا لاجل الاختصار في البحث والاقصا  
في الاشغال على هذه الصورة العامة النفع في الفنون ونعتبر ان هذه المخنيات  
لها ثقل واحد في طول واحد ونفرض ان النقط الثابتة تكون دائما على بعد واحد  
من بعضها

ومتى كان المنحنى ا ب مثلا (شكل ١٣) انحناء قليل جدا امكن  
بدون خطأ كبير ان نعتبر ان مركز ثقل كل جزء بجزء ب من هذا المنحنى  
يكون موجودا على رأسي ه ف الموضوع على بعد واحد من طرف ث

و ب فاذا انما من نقطة غ التي هي المركز المذكور رأسي ه غ  
الى مستقيم ا ب حدث معنا ان د ف = ف ب واذا انزلنا  
من نقطة ب عمود ب ه على ث ه الممتد حدث معنا ان  
ث ه = ه ب

ولجعل الان نقطتين في المنحنى كنقطتي ث و ب ثابتتين ونمدهما سي  
ث ه و ه ب المتطرفين فيكونان ضلعين لتوازي الاضلاع وهو



ش هـ ف الذي وتره هـ ف ويكون هذا الوتر دالا على ثقل قوس  
ش ب وضلعاه وهما هـ ب و هـ ث دالين على الشدين الحاصلين  
للجبل في نقطتي ب و ث

فاذا كان سهم شد صغيرا جدا بالنسبة لطول ا ب فلا فرق بين  
ش ب و هـ ب وبين ف ب و ش هـ فاذا يكون شد الجبل  
او السلسلة الحادث عنها المنحنى واحدا تقريبا في سائر امتداده غير أنه لاجل ابقاء  
الشد على حالة واحدة في جميع نقطه يلزم أن يكون سهم شد معدوما  
فاذا اعتبرنا الا ن أن ثقل المنحنى ثابت ومدلول عليه بخط و ر فان الشد

الحاصل للجبل في نقطة ب يكون مدلولاً عليه بخط و خ فخذ لاجل  
ذلك خ ر اقصيا الى و خ الممتد الذي هو امتداد مماس ب هـ

ولكن يوجد معنا مثلثا ب هـ و و خ ر المتشابهان اللذان يوجد

فيهما ب هـ : ب هـ :: و خ : و ر فاذا يكون

$$\text{ور} = \text{ب هـ} \times \frac{\text{ب هـ}}{\text{ب هـ}}$$

وحيث ان ب هـ يساوي شد و ب هـ يختلف قليلا

عن ب هـ فانه اذا كان ب هـ = شد صغيرا جدا  
حدث على وجه تقريبي

$$\text{ور} = \text{ب هـ} \times \frac{\text{ب هـ}}{\text{شد}}$$

فاذا لم يتغير حيث بعد طرفي ا و ب وثقل الجبل الذي يدل عليه و ر

فان شد و خ يصير على نسبة منعكسة من سهم شد فاذا يلزم أن يكون

شد و خ الحاصل في نقطة ب او في نقطة ا عظيم جدا ليكون شد

صغيرا جدا او معدوما بالكلية وبناء على ذلك اذا كان هناك جبل مشدود شدا  
اقتيا من طرفيه فانه يلزم أن يكون مشدودا بقوتين عظيمتين جدا حتى يكون  
ممدودا بالضبط مدامستقيما

وقد حق لنا أن نبرهن تفصيلا على هذه الحالة نظرا لمن يقول بصعوبتها فنقول  
اذا كان هناك جبل خفيف جدا وليس هنالك ما يعارضه واريده شدا قويا  
من نقطتين موضوعتين على ارتفاع واحد فانه يتعذر شده من النقطة التي  
يكون فيها مستقيما بالكلية

\*(. ان تطبيق ما تقدم على ادوات السفن) \*

ثم ان استعمال الخواص التي ذكرناها في شأن المنحني لا يخلو عن فائدة عظيمة  
وبه تظهر الجهود التي تصممها الحبال في كثير من الصور للهمة والمراد  
بادوات السفن مجموع الحبال المستعملة في اسناد صواري السفينة وقرياتها  
وفي تحريكها

فصواري شد و هف و غش الراسية (شكل ١٥)  
ممسكة من جزءها الاسفل بعدة من الشواحي وبجزءها الاعلى عقدة جارية  
مصنوعة من حبل عظيم يسمى عندهم بالميدة او الجاغوص وهو الذي يستند  
عليه الصاري وهذه العقدة تنزل من المؤخر الى المقدم وتثبت في نقطة من  
السفينة ومتى ارتفع المؤخر وانخفض المقدم عند الاضطراب والتحرك فان الميدة  
تكون مقاومة وتمنع الصاري عن الكسر عند سقوطه الى جهة الخلف  
ونستعمل الميدة زيادة على ذلك لتعادل ما ينشأ عن الحلية او الاطراف من  
المجهودات العظيمة والحلية او الاطراف هي حبال منتشية من منتصفها  
ومربوطة فيه بحيث يحدث عنها فتحة عريضة تمر بها رأس الصاري فينكون  
من طرفي كل حبل حليتان او طرفان يكونان ثابتين على جانب واحد فلذا تراهم  
يضعون بالتعاقب للصاري الواحد حليتين في جانب السفينة الايمن وآخرين  
في الجانب الآخر

وتكون الاطراف شاذة مع الرأس الصارى عند الهبوط من منتصف السفينة الى جانبيها ومن الامام الى الخلف

فاذا كانت الميدات والاطراف مائلة بحيث لا يحدث عنها خطوط مستقيمة مهما كان الشد الحاصل لها فانه يحدث عنها انحناءات والمنحنىات الحادثة عن الاطراف لها انحناء ظاهر قليلا لان هذه الحبال تقرب من الاتجاه الراسي قريبا كافيًا بخلاف المنحنىات الحادثة عن الميدات والجواغيص البعيدة كثيرا عن الاتجاه الراسي المذكور فان انحناءها يكون ظاهرا بالكلية ثم ان المنحنى الحادث عن الميدة او الحلية يتغير انحناءه في كل دفعة جديدة تعرض له من الرياح والامواج

فاذا دفع الهواء السفينة من الخلف الى الامام نقص انحناء المنحنى الحادث عن الاطراف، لاجل ازدياد انحناء المنحنى الحادث عن الميدات واذا هبت الرياح من جهة نقص انحناء المنحنىات الحادثة عن الاطراف الموجودة في هذه الجهة لاجل ازدياد انحناء المنحنىات الحادثة عن الاطراف الموجودة في الجهة التي تقابلها

وقد يكون اعتبار الالطوال التي تقبلها المنحنىات الحادثة عن الاطراف والميدات اما يقتضى المادة التي تتركب منها هذه الحبال او يقتضى جنس المنحنىات الحادثة عنها مهما جدا في ادوات السفن وفن الملاحه ويمكن أن نستعمل عرضا عن الحبال المتجهة السمك في جميع طولها الحبال التي ينقص سمكها من الجهة السفلى بحيث لا يكون لها في نقطتها المنخفضة الا القوة اللازمة لمقاومة الشد الاصطناعي الذي يحدث في هذا الجزء لكل طرف من الاطراف

ويعسر في هذه الصورة الاخيرة صناعة الحبال الا انه يترتب عليها وفر عظيم وبها تصير ادوات السفن خفيفة جدا وهناك ايضا كثير من التحسينات ليس هذا محلها لان ما ذكرناه يكفي في بيان الكيفية التي بها يتيسر في كل وقت حساب شد الحبال واتجاهها الانفع

## \*(بيان القناطر المعلقة)\*

ولنوضح الآن كيفية عمل هذه القناطر وتوازنها فنقول  
 لنفرض أن جبلا أو سلسلة يمتد بين نقطتي  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$  وأن جبلا أو سلاسل  
 أخرى رأسية يقال لها حفاظية مثل  $\bar{M}$  و  $\bar{D}$  و  $\bar{O}$  و  $\bar{C}$  الخ  
 تربط في هذا الجبل من نقط مختلفة منه على بعد واحد من بعضها ويوضع  
 جبلان متساويان مثل جبل  $\bar{A}$  م  $\bar{D}$  و  $\bar{C}$  ب بجانب بعضهما  
 ويكونان على ارتفاع واحد ويوصل بعوارض انقبية أطراف تلك الجبال  
 الحفاظية الموضوعة بهذا بعضهما ثم يوضع على هذه العوارض المتوازية سقف  
 فيكون ذلك هو القنطرة المعلقة

ولاجل تعيين شروط توازن القنطرة المذكورة يلزم أن نعتبر أن كل جبل  
 مثل  $\bar{A}$  م  $\bar{D}$  و  $\bar{C}$  ب يحمل جزءاً من القنطرة ثقله واحد في خلال  
 الجبال الحفاظية بخلاف ثقل تلك الجبال فإنه يزداد كلما قربنا من طرفي  
 الجبل

وحيث أن ثقل الجبال الحفاظية قليل بالنسبة لثقل القنطرة الكلي فلا نزاع  
 أن الجبل الثقيل يحمل أثقالاً متساوية في مسافات انقبية متساوية وحينئذ  
 يكون المنحنى الحادث من الجبل المذكور قطعاً مكافئاً وقد برهن على ذلك  
 في كتب أخرى

وعلى ذلك فيمكن أن نحصل في أسرع وقت وضع مركز ثقل جبل  $\bar{A}$  م  $\bar{D}$  ب  
 ونقطة  $\bar{P}$  التي يتقاطع فيها عماسا ذلك الجبل لأنه في القطع المكافئ الذي  
 سهمه  $\bar{C}$  م يكون  $\bar{C}$  م =  $\bar{P}$  م

فإذا رسمنا متوازي أضلاع مثل  $\bar{P}$  ا م ر على  $\bar{A}$  ط و  $\bar{B}$  ط اللذين هما  
 عماسا سلسلة التعليق المعتبرة  $\bar{C}$  ك قطع مكافئ حدث عن ذلك أن نسبة  
 ثقل السلسلة إلى الشد الحاصل لها في نقطة  $\bar{P}$  تكون كنسبة  $\bar{P}$  م  $\bar{P}$

الى  $\overline{ا\tau}$  فاذا مددنا  $\overline{ا\tau}$  موازيا الى  $\overline{اب}$  حدث هذا التناسب وهو  
 $\overline{م\tau} : \overline{ا\tau} :: \overline{ر\tau} : \overline{ا\tau} :: \overline{د\tau} : \overline{ا\tau} :: \overline{م\tau} : \overline{ا\tau} :: \overline{م\tau} : \overline{ا\tau}$   
 وبالجمله فمقي كان سهم  $\overline{م\tau}$  صغيرا بالنسبة لطول  $\overline{ا\tau}$  امكن  
 أن نعتبر أن  $\overline{ر\tau}$  و  $\overline{ا\tau}$  متساويان فاذن تكون في هذه الحالة نسبة  
 ثقل السلسلة الى الشد الحاصل لها في نقطة  $\overline{ا\tau}$  كنسبة سهم السلسلة  
 ثمانى مران الى بعد  $\overline{اب}$  الحاصل بين  $\overline{ا\tau}$  و  $\overline{ب\tau}$  اللتين هما نقطتا  
 الارتكاز

وينبغى لنا أن ننبه على أن هذا المقدار ليس الا تقريبا ومتى تعذر اختلاط  
 طولى  $\overline{ا\tau}$  و  $\overline{ا\tau}$  ببعضهما بدون خطاين لزم اخذ نسبة  $\overline{ا\tau}$   
 :  $\overline{د\tau}$  عوضا عن  $\overline{اب} : \overline{ا\tau}$

ويسهل علينا حساب قوة الحبال الحفاظية الرأسية بتقسيم ثقل سطح القنطرة  
 على عدد تلك الحبال ويلزم أن يكون سمك الحبال المذكورة مناسبا لعدد  
 الكيلوغرامات الذى يوجد في خارج هذه القصة  
 ثم ان القناطر المعلقة الكبيرة المشيدة لعبور الانهر العظيمة يصنعها مهندسا  
 القناطر والجسور او كبار المتعهدين واما القناطر الصغيرة الوفيرية (اى القليلة  
 المصاريف) المعتدة لعبور الامطار والسيول والمجارى الصغيرة ومشى الناس  
 وسير الثقلات الصغيرة ونحو ذلك والمستعملة ايضا واصله بين عمارى معمل كبير  
 واحدا فانها تصنع بدون صعوبة ولا بد منها فى سائر فروع الصناعة

ويستعمل في هذه القناطر غالبا سلوك من حديد بدلا عن السلاسل وتكون  
 هذه السلوك مجموعة على صورة حزمة يحيط بها سلك على هيئة بريمة حلزونية  
 كالانوار المعدنية التى فى آلات الموسيقى (واقل قوة فرض للسلك هو أن يحمل  
 ٤٠ كيلوغراما فى كل مليتر مربع من التقاطع بدون أن يتقطع فلا يحمل  
 فى كل مليتر الا ٢٠ كيلوغراما) وقد تكون قضبان الحديد مستعملة  
 كالحبال الحفاظية فتكون العوارض الصغيرة التى عليها الواح بسيطة طولية

كافية في تمام القطرة وفي هذه العمارات وفر عظيم على ما فيها من الصلابة عند تناسب شكلها وابعادها بموجب ما ذكرناه في هذا الدرس من القواعد المتعلقة بتوازن الجبال

ثم ان المهندس سغوين دونواي وهو اول من شيد القناطر المعلقة في مملكة فرانسا بسلوله من حديد قد ابدى في هذا المعنى مثالا كثير الجدوى وهو انه صنع في معمله قطرة لعبور المشاة من الناس طولها ثمانية عشر مترا تقريبا وعرضها ستة دسجترات ولم تبلغ مزاريفها الا خمسين فرنكا والى كتابا في المبادئ كثير الفائدة لمن اطلع عليه ممن يرغب في عمل القناطر المعلقة الصغيرة ومن اراد التثبت بالمهم من اشغال هذا النوع فعليه بمطالعة رسالات الميرالاي دوفور التي تحليلاتها مما اشتمت عليه رحلاتنا الى جزائر ابريطانيا الكبرى وبالاطلاع على كتاب المهندس ناوييه احد اعضاء جمعية العلماء وهو كتاب جليل يشتمل على دقائق تلك الاشغال وبالوقوف على الجزء الثالث من رحلاتنا المذكورة الذي تكلمنا فيه على القوة التجارية وينافيه تخطيط القناطر الكبيرة المعلقة المصنوعة في انكلترة والقبائل الفرنسية واذكرنا فيه مستوياتها .

وحيث انتهى الكلام على الجبال الواقع عليها تأثير قوى حينما اتفق وكذلك تأثير التناقل تتكلم الآن على الجبال التي تطبق على سطح الاجسام الصلبة فنقول اذا كان الجبل مطبقا على سطح ومشدودا من طرفيه فانه بالضرورة يتغير وضعه بقدر ما تحرك كل قوة الى جهة اتجاهاه الحقيقي وبقدر ملأ اخذه ذلك الجبل من الوضع الذي يشغل فيه طولا عظيما على السطح ولا يمكن حصول التوازن في ذلك الا في الوضع الحقيقي الذي يشغل فيه الجبل المذكور على السطح وضع اقصر خط يمكن مده بين نقطتين حينما اتفق من قطعتاس الجبل بالسطح فيكون حينئذ للخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على السطوح ارتباط ضروري بوضع توازن الجبال المطبقة على السطوح والتشدد من اطرافها (والخاصية الهندسية لهذه الخصيات وهي الجبال المذكورة هي انه اذا رسمنا

من كل نقطة من قطعا مستويا ملاصقا لها يلزم أن يكون هذا المستوى عموديا على السطح الذي يكون المنحنى المذكور ممسوما عليه وبناء على ذلك إذا دقت عدة أوتاد في نقاط مختلفة من المنحنى عموديا على سطح  $\Gamma$  مع ملاحظة اتجاه المنحنى بحيث يحدث من الأشعة البصر بمستوي يمر بكل من مماس المنحنى والوتر العمودي على النقطة المعتبرة  $\Gamma$  كان المستوى الحادث من الأشعة البصرية المذكورة ملاصقا للمنحنى الذي يظهر أنه لا انحناء له أصلا في تلك النقطة وهذه الخاصية يمكن استعمالها على وجه تقريبي في أقصر مماس يمكن رسمه على السطح بالابتداء من نقطة معلومة في اتجاه معلوم

وإذا كان الحبل منتبها على سطح وكان مؤثرا على كل من طرفيه قوة لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين حتى يحصل التوازن فإن لم يكونا كذلك فإن الحبل يتحرك في جهة كبراهما كأنه لم يكن هنالك القوة واحدة مؤثرة في تلك الجهة وهذه القوة ليست الا فاضل القوتين الأصليتين

ويكثر في الفنون استعمال الحبال المشدودة على السطوح فإذا أراد صناع السفن أن يجعلوا السطح اضلاع السفينة وسطح حوافها انحناء تاما متواصلا فانهم يشدون على الجهة الطويلة حبالا ويجعلون لها اتجاها منتظما جدا في جهة طول الحواشي المذكورة ثم يرفعون بالتوالي الاجزاء البارزة كثيرا من قطع الخشب الموجودة بين المسامير المختلفة التي يثبت بها الحبل على السطح فيكون لهذا الحبل المشدود من طرفيه اتجاه اقصر خط يمكن رسمه على سطح السفينة بين المسامير المتوالية

وهناك سطوح يمكن احاطتها احاطة تامة بحبل طرفاه منضمات الى بعضهما ومتصلان اتصالا تاما بواسطة عقدة أو غيرها ولا يصل هذا الحبل الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا الا اذا كان تابعا بالضبط لاتجاه اقصر خط يمكن مده من النقطة التي يوجد فيها العقدة وذلك يكون عند الدوران حول الجسم لاجل الوصول الى العقدة المذكورة

ويوجد في ملابس الرجال والنساء ما يشبه تلك الحبال المطبقة على السطوح

وذلك كالقوايش والاحزمة فانها اقصر خطوط يمكن رسمها على سطح الجسم مباشرة او مستورا بالملابس فاذا كان وضع الحزام من تقعا فانه يكاد أن ينخفض واذا كان وضعه منخفضا فانه يكاد أن يرتفع

وهناك عدة اشياء من زينة النساء والرجال متخذة من خطوط كبيرة او صغيرة ممتدة على سطح الرأس كالسلاسل والقياطين المجدولة مع الشعر في العصابات اليونانية والرومانية وكتيجان آسيا والقياطين المرسله من الاكاف الى الاوراك وسيور النعال ونحو ذلك

وينبغي أن تكون الاربطة والاساور والاطواق والاقراط شبيهة بالسلاسل الموضوعه على سطوح متنوعة او بخطوط التركيب التي تحيط بسطح السوق والاذرعة والاصابع والرقبة في الاتجاهات القصيرة من الاعضاء

وسأني لك عند الكلام على تحرك البكرات أن الحبال تكون موضوعه في حلق دوالب البكرات المذكورة حسبما يقتضيه اقصر خط يمكن رسمه في هذا الحلق

ويؤخذ من جزر العربات بالخيول تطبيقات مفيدة متنوعة جدا تتعلق باختلاط الخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على سطح جسم هذه الحيوانات وليست المزانق والقشاطات والالجمة وغيرها من عدد الخيول خارجة عن القاعده المقررة في شأن تولز الحبال المطبقة على السطوح

وهاهنا انتهى الكلام على الحبل من حيث تطبيقه على سطح واحد وشده من طرفيه فقط ولنفرض الآن انه يكون مشدودا زيادة على ذلك من نقطة متوسطة فتوجد شروط التوازن في هذه النقطة اذا فرضنا ان القوتين اللتين نشدان الحبل من طرفيه تكونان منقولتين على اتجاه الحبل المذكور الى النقطة التي تكون القوة المتوسطة مؤثرة فيها ويلزم أن تكون هذه القوى الثلاثة متجهه ومتناسبة معا بحيث تكون متوازنة في النقطة المذكورة كما لو كان الحبل لا ينسب لسطح تام من السطوح

ثم ان القواعد المذكورة في شأن الاشكال الكثیر الاضلاع الحبالية من حيث تساوى الشدود في كل نقطة متوسطة واقع عليها تأثير قوة خاصة هي عين



القواعد المطبقة على الاشكال الكثيرة الاضلاع الجبالية التي تكون فيها اجزاء  
الجبال منتنية على سطح ما ويلزم دائماً أن تكون الشدود الحاصلة في جزءين من  
الحبل اعنى على عین القوة المتوسطة وشمالها متوازنة مع هذه القوة وأن تكون  
الشدود الحاصلة في كل جزء من الحبل بين قوتين متوسطتين متساوية  
ومتضادة الاتجاه

وفي عدد خيول العربات التي اسلفنا ذكرها امثلة متنوعة تتعلق بالاشكال  
الكثيرة الاضلاع الجبالية

وذلك لانه ليس الغرض من شرط توازن القوى وتناسبها في تلك الاشكال  
بمجرد الرغبة ناذ من البدیهى ان صلابة كل جزء من هذه العدد تكون مناسبة  
لما يبذل من المجهودات التي يلزم أن الجزء المذكور يتحملها وان الاجزاء  
المتنوعة من العدد المذكورة تكون مفصلة على وجه بحيث تكون  
متوازنة مع وجود تأثير التناقل وقوى الجر والاعتراض وضع تلك العدد بالضرورة  
وصار الجر دينا

وبتطبيق الهندسة والميكانيكا على تناسب عدد خيول العربات وتفصيلها  
لا سيما في الفنون الحربية يتوصل الى جعل ثقل هذه العدد في النهاية الصغرى  
وجعل صورتها موافقة لتطبيق قوة الخيول والانتكيز والنسابة هم اول  
من عرف ذلك وعاد على خيولهم وعرباتهم النقلة بالمنفعة العظيمة وقد بقي  
علينا امور كثيرة يحتاج اليها في هذا الموضوع لا سيما في عدد خيول العربات  
المعدة لنقل لوازم الزراعة والتجارة فهو غرض مهم يلزم حث الصناعة  
وتحريضهم على الاعتناء به والاتفات اليه

فاذا استعملنا عوضا عن الجبال المعتبرة كالمخطوط الهندسية حبالا حجمها  
معلوم ولها صورة خاصة كالقوايس والسيور ونحو ذلك فانه يلزم أن تكون  
على السطوح التي تستند هي عليها والاعتبرت عن اصلها وحيث نعتبر السيور  
والقوايس كالسطوح المنفردة المماسه لسطح الجسم الذي هي موضوعة عليه  
وهذا ايضا ما يطبق على ما اسلفناه في الدرس العاشر من الهندسة

ثم ان كيفية تعليق الاجمال بالحبال ليسهل حملها على الناس جدرة بالاغتنامها  
والالتفات اليها بخصوصها فمن ذلك كيفية سهلة مناسبة وهي ربط قائشين  
في ظهر جربندية العساكر او دلوى سقائى الافريج وجعلهما مارتان من  
تحت الابط وفوق الكتف ولا يمكن توازنهما الا اذا كان لهما اتجاه اقصر خط  
يمكن مده من نقطتي الارتباط ويكون مارتان تحت الابط وفوق الكتف  
ايضا وهذا هو السبب في كونهم يجبرون في الغالب على امساكهما بحبل  
افقي مارتا بالصدر وواصل من احدهما الى الآخر وبذلك يسهل تعيين الشدة  
الحاصل للحبل المذكور والزاوية الحادثة منه ومن القائشين في نقطة وقوعه  
وهناك كيفية اخرى تتعلق بالقائش وهي كيفية السقاء حيث يضع القائش  
على كتفيه وينزله بقدر طول ذراعيه الى ارتفاع يديه الذي ينتهى فيه القائش  
من كل من طرفيه بحمالة تمسك بأذن الدلو ولاجل منع الدلوين عن القرب  
من ساقى السقاء بواسطة ثقلهما يفرق بينهما بطارة فيسهل حينئذ تحصيل  
الشدة الحاصل للقائش ويلزم أن يكون متوازنا أولا مع ثقل كل دلو وثانيا  
مع قوة الحصر الحادثة من الطارة التي يندم بها الجهد الحاصل من الدلوين  
لاجل اقترابهما من بعضهما

وفن ربط انواع الرزم بخيوط الدبارة مبنى على خواص توازن الحبال الممدودة  
على السطوح ومعرفة ذلك سهلة كمعرفة تطبيق الحبال وربما سرت التلامذة  
من مباشرة اجراء ذلك بانفسهم ومن تحققهم في عمليات الصناعة من تصور  
النظريات

ومن الفنون المستطرفة التي تطبيقاتها متنوعة وعملياتها بدیعة فن رسم  
منحنيات على سطح الجسم الانساني وعلى سطح الملابس تكون اقصر خطوط  
يمكن رسمها على هذين السطحين ويتحقق هذا الوصف فيما يكون لها ارتباط  
باسباب التغير والسهولة والانتظام والظرافة

وقد سبق انه يكون للمازون خاصية هندسية وهي انه يكون اقصر خط  
يمكن رسمه على اسطوانة بين اى نقطتين من هذا الخط وبناء على ذلك يمكن  
أن نثني حبالا حلزونية على سطح اسطوانى ثم نشد هذه الحبال من اطرافها

مع تمام اتجاهاتها بدون أن يتغير شئ من الانحناء الحاصل منها حول  
الاسطوانة

وقد جرت عملية عظيمة جدا من هذه الخاصية الهندسية في الآلات التي  
يلزم فيها انثناء الحبال على السطوح كما في عملية انثناء الحبل على الآلة  
المعروفة بالمخنيق الآتي ذكرها في الدرس العاشر ومن هذا القبيل اوتار  
الكمنجة والعود والقانون فهي حادثة من وتر مركزي ينون حوله على صورة  
حلزون سلكامعدنية فيكون شد هذا السلك واحدا في جميع تقططوله متى كان  
بهذه الصورة الحلزونية وبناء على ذلك يكون الاهتزاز الحاصل عند تحرك  
الآلة واحدا في جميع اجزاء الوتر وهذا ناشئ عن خواص الانحناء الحلزوني  
والشبكات متكونة من الخيوط المرتبطة منى بنقط على نسق واحد وهناك  
شبكات القرط من صناعتها أن تنطبق على السطوح انطباقا صحيحا كالشبكة  
التي تغطي بها القباب الطيارة وتنتهي بحيط المركب التي تثقلها تلك القباب  
وبمقتضى القواعد المذكورة في هذا الدرس يسهل حساب الشد الحاصل  
لكل خيط من الشبكة

وفي زينة النساء غالبا شبكات معدة لتغطية بعض اجزاء من سطح شعورهن  
وملابسهن كالنسيج الذي يكون في العصاة وهو المعروف بغطاء اللباس  
والشبكات واصطناع ذلك على صورة الشبكات يجعله ملائما لانثناء الاجسام  
البشرية وانحنائها اتم الملايمة

### \*( الدرس السابع ) \*

في بيان ما بقى من الحبال وفي التفرعات المستديرة للحبال والقضبان  
والجملات والطيارات وفي مقادير الإنترسي وفي البندولات

لنفرض ان قوة  $S$  تكون واقعة عموديا على نقطة  $A$  التي هي احد  
طرفي حبل  $AB$  غير القابل للتمد والمجرد عن التناقل فيكون طرفه الآخر  
وهو  $B$  مربوطا في نقطة ثابتة  
واذا كانت قوة  $S$  المذكورة مؤثرة زمنا بدون معارض فانها تسير

نقطة  $\bar{A}$  المادية الى الامام تسييرا مستقيما وتبعدها كثيرا عن نقطة  $\bar{B}$  الثابتة غير أن الحبل المستعمل لذلك يمنع النقطة المادية المذكورة أن تكون بعيدة عن نقطة  $\bar{B}$  أكثر من البعد الاول وهو  $\bar{A}$  فاذن يجذب هذا الحبل النقطة المادية لجعلها على بعد ثابت من النقطة المعينة وبواسطة هذه المقاومة تجذب قوة  $\bar{AS}$  الحبل الذي هو محدود دائما بسبب تأثير هاتين القوتين فاذن ترسم نقطة  $\bar{A}$  التي هي طرف هذا الحبل دائرة فيرى في ذلك ثلاث قوى متباينة احدها قوة  $\bar{S}$  العمودية على نصف

قطر  $\bar{A}$  والموجهة على  $\bar{AS}$  الذي هو مماس الدائرة المقطوعة بنقطة  $\bar{A}$  المادية وهذه القوة هي المعروفة بالقوة المماسية والثانية القوة الجاذبة للحبل جهة المركز وهي المعروفة بالقوة المركزية والثالثة القوة التي تجذبه لتبعد نقطة  $\bar{A}$  عن المركز وهي المعروفة بالقوة المبعدة عن المركز وهي مساوية للقوة المركزية ومضادة لها ولندكر النسبة الحاصلة بين القوتين الاخيرتين والقوة الاولى فنقول

لنرسم شكلا متوازي الاضلاع مثل  $\bar{AM}$  على ضلعي  $\bar{AN}$  و  $\bar{AO}$  المتساويين فيكون قطره وهو  $\bar{AM}$  دالا على ما يلزم بذلك من الجهد لاستبدال اتجاه  $\bar{AO}$  باتجاه  $\bar{AN}$  وانتقال الجسم من  $\bar{A}$  الى  $\bar{N}$  وهذا الجهد المبين بخط  $\bar{AM}$  هو القوة المركزية

فاذا مددنا نصف قطر  $\bar{SN}$  كان مثلثا  $\bar{ASN}$  و  $\bar{ANM}$  متشابهين لانهما متماثلان وفيهما زاوية مشتركة وهي  $\bar{A}$  فاذن يحدث هذا التناسب وهو :

$$\bar{SN} : \bar{AN} :: \bar{AN} : \bar{AM} = \bar{SN} : \bar{AN}$$

بمعنى ان  $\bar{AM}$  الدال على كل من القوة المركزية والقوة المبعدة عن المركز يكون مساويا لمربع القوة المماسية مقسوما على نصف القطر

وبمثل هذه البرهنة يعلم اننا اذا اخذنا  $ان = ن = ن = ن$  الخ  
واقعنا على  $شن$  و  $شن$  و  $شن$  الخ قوة مركزية جديدة  
مساوية دائما  $ام$  قطع الجسم في الزمنة متساوية مسافات  $ان$   
و  $ن$  و  $ن$  الخ فاذن يكون الجسم المذكور سرعة مماسة  
ملازمة له ويحصل له في كل وقت من القوة المركزية دفعة جديدة ثابتة متى قطع  
دائرة معلومة وهذا هو المعروف بالتحرك المستدبر المنتظم  
وفي هذا التحرك تكون السرعة المماسية مساوية للقوس المقطوع مقسوما  
على الزمن المعدل لقطعه

واذا قسم القوس بنصف القطر حدث من ذلك قياس الزاوية وحينئذ تكون  
الزاوية المتساوية للقوس المقطوع مساوية للسرعة المماسية مقسومة على  
نصف قطر هذا القوس ومضروبة في الزمن المعدل لقطعه ويحدث من هذه الزاوية  
المقسومة على الزمن قياس ما هو معروف بالسرعة المنزوية للجسم الدائر  
حول المركز فاذن تكون  $اولا$  السرعة المنزوية مع السرعة المماسية  
على نسبة منعكسة من نصف القطر  $وثانيا$  تكون كلتا سرعتين المماسية  
والمنزوية مناسبتين لنصف القطر

ففي تغيرات انصاف الاقطار كان الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها على نسبة  
منعكسة من السرعة المنزوية فيكون الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها مناسبا  
لنصف القطر مقسوما على السرعة المماسية

وهذه النتائج موضحة في كثير من مسائل الميكانيكا المهمة في الصناعة  
ولا تغفل انه اذا كان الجسم الدائر حول المركز في بوطا بخيط او حبل او قضيب  
كانت القوة المركزية هي الشد الواقع على الخيط او الحبل او القضيب من جهة  
المركز وكانت القوة البعده عن المركز هي الشد المقابل للمتقدم والواقع  
على الخيط لبعده عن المركز

وراكب الفرس الذي يدور بها في الميدان يكون في مركز الدائرة ويكون

فأبضا يده على طرف عنان القوس فتكون القوة المماسية هنا هي قوة القوس  
الذي يميل دائما الى الاقلات من المماس غير أن الراكب المذكور يشد العنان  
بقوة مركزية مساوية للقوة التي يشد بها القوس عنانه بمعنى انها تكون مساوية  
للقوة المبعدة عن المركز المنسوبة للقوس ومتى كانت سرعة القوس مضاعفة  
مثنى كانت القوة المركزية مضاعفة رباع واذا كانت السرعة مضاعفة ثلاث  
كانت القوة المذكورة مضاعفة تسع مرات وهكذا وما ذكرناه في هذا المعنى  
مع ما يتعلق به من النسب يلايم فتحرك المقلع الذي سنذكره قريبا

ثم ان القوس الذي يدور في دائرة بدون مانع يمنع من الدوران لا يمكنه الاستقامة  
والاعتدال فيها لان القوة المبعدة عن المركز التي تقوى دائما لمجرأ جسمه  
تدفعه دفعا اقويا الى خارج تلك الدائرة بل تكاد توقعه فلاجل مقاومة  
تأثيرها يميل القوس باعلى جسمه الى جهة مركز الدائرة التي يقطعها ويلزم  
أن يكون هذا الميل متزايدا بقدر مربع سرعته ويعظم ميله متى اسرع  
في العدو والجرى \* ولاجل أن يمكنه السير بدون صعوبة عند ميله الى جهة  
مركز الدائرة يميل به الراكب دفعة واحدة الى الطريق المستدير الذي يلزم  
قطعه (شكل ٢)

واذا كان القوس قائما على فرسه مع الاعتدال والاستقامة فانه يجبر على الميل  
باعلى جسمه الى جهة مركز الميدان لئلا يسقط بتأثير القوة المبعدة عن المركز  
ويدل شكل ٢ على ما بين قوة التناقل والقوة المبعدة عن المركز من التركيب  
ليحصل التوازن بين القوس وراكبه

واذا سارت العربة ورسمت في سيرها قوس دائرة او سارت سيرا مستديرا  
لحقها تأثير القوة المبعدة عن المركز التي تكاد تقلبها فاذا دارت في طريق ل  
المنحدر الى جهة مركز الدوران وهو و حدث في هذا الوضع عن القوة  
المبعدة عن المركز وقوة التناقل ما يحدث عن القوس (شكل ٢) عند دورانه  
في طريق اب و هـ حول محور و و

ومتى كان طريق **م** اقربا فلا شئ يتقص ميل القوة المبعدة عن المركز حتى تقلب العربية

فاذا كان طريق **ن** منحذوا بعيدا عن مركز الدوران فان هذا الانحدار ينضم تأثيره الغير الموافق الى تأثير القوة المبعدة عن المركز فينشأ عن ذلك خطر عظيم في الانقلاب

وفي طرق **فرانسا** ضرر عظيم وذلك انها محدبة من منتصفها بحيث يظهر منها الانحداران عظيمان جدا في جهتين متقابلتين فاذا تقابل عربتان في بعض الانعطافات فان العربية المتوجهة الى الانحدار الذي يكون نحو مركز الدوران تكون متقوية بهذا الانحدار واما المتوجهة الى الانحدار الخارج فانها لا تكون متقوية بهذا الانحدار بل ربما كانت عرضة للانقلاب

وبما ينبغي نظمه في سلك القواعد المطردة التي يجب العمل بها هو انه في جميع الانعطافات لا يلزم عمل انحدار خارج مطلقا وانما يلزم عمل انحدار الى جهة مركز الدوران بقدر الامكان

فاذا كانت القوة المبعدة عن المركز على نسبة منعكسة من قطر القوس المقطوع فانه ينتج من ذلك انها تكون صغيرة متى كان القطر كبيرا وتكون متزايدة متى كان القطر منقوصا واذا كان في الانعطافات القصيرة جدا ما ليس لقوسه الا قطر صغير جدا كانت القوة المبعدة عن المركز **كبيرة** وبذلك يكون الانقلاب شديد الخطر

وقصارى الامر ان هنا الخطر يتزايد بقدر مربع سرعة العربات وهذا هو الحامل لمهارة العربية والخيلة على كونهم لا يسوقون خيولهم سوفا حثيثا في الانعطافات القصيرة بل يمشون على مهل متى ارادوا الدوران ولتنبه هنا على ان الميكانيكا يعرف بها مع الضغط والسهولة جميع تأثيرات التحرك المستدير في الصور المهمة المتعلقة بالامن والاطمئنان في النقل والاسفار ويعرف بها ايضا قواعد عمل العربات التي تصنع بموجب قوانين التحرك

فاذا كانت المجلة (شكل ٣) سريعة الحركة في الرمل او الطين فانها ترفع معها شيا من ذلك تكون سرعته المماسية عين سرعتها وحيث ان ما ترفعه لا يثبت على القضبان ولا على تصاليب المجلة بقوة تساوى القوة المبعدة عن المركز لزم أن يقع عليه تاثير هذا القوة وأن يكون مدفوعا بالسرعة التي اكتسبها ويوضع امام عجلات العربات المزينة لوح معدني عرض مستدير مثل **س س** يعرف بالمانع لانه يمنع جميع قطع الطين الصغيرة المدفوعة بتاثير القوة المماسية

واذا لم تكن تصاليب العجلات متلاصقة بمسامير غائصة الى انصافها في اطراف تلك التصاليب المتماسية وقضبان من الحديد سائرة لجهة التصاليب فان القوة المبعدة عن المركز تكاد دائما أن تبعد التصاليب المذكورة عن المركز وتخلعها من المسامير الرفيعة وتخدفها كالرمل والطين اذا عظمت سرعة العجلات ومتى كانت المسامير المثبتة للقضبان على التصاليب داخله قايلة لا في الخشب فان القوة المبعدة عن المركز تخلصها وتخدفها في انجمله المسامير الرفيعة الممتدة وبالجملة فنجزم مجموع التصاليب والقضبان والمسامير المثبتة لها على التصاليب له قواعد تعلم من نسب القوة المماسية والقوة المبعدة عن المركز وكذلك كثير من العجلات المستعملة في الآلات كإسياف

واذا ضرب الصانع بالبلطة او المطرقة ضربا قويا فان حركة الآلة في حالة الضرب تكون على شكل قوس دائرة بخلاف ما اذا كان الضرب ضعيفا فانها تمحيد عن محاس القوس الذي تقطعه فلذا كان الدوران مستديرا وكان ضرب الدبوس والبلطة والبالة ونحو ذلك بهذه الكيفية ومن هذا القبيل ايضا المقلع

وذلك ان المقلع كان قبل اختراع اسلحة النار من آلات الرمي المهمة ثم صار الآن لعبة في ايدي الصبيان وكيفية الرمي به أن يوثق بجبل خفيف كجبل **اثب** (شكل ٤) يكون في منتصفه كفة ككفة **ث** يوضع فيها حجر ثم ينفخ طرفاه وهما **آ** و **ب** الى بعضهما ويقبض الانسان عليهما



يد واحدة ثم يحركه فتحركه دوران فاذا استعمل في تحريكه قوة ثابتة فان  
المقلاع يدور بسرعة ثابتة ويكون حبله مشدودا دائما فيحدث عنه في اليد  
جهد يدل على القوة المركزية اللازمة لأمسالك الحجر  $\theta$  دائما على بعد  
واحد من مركز  $A$  ومتى ارخى احد طرفي الحبل فان هذه القوة المركزية  
لانتضاد القوة المبعدة عن المركز وكذلك الحجر لا يتحرك فتحركه كاستديرا  
بل تدفعه القوة المماسية بدون مائع فيقطع في سيره خطا مستقيما اذا حذف  
رأسها

وقد قطعنا النظر في جميع ما ذكرناه عن تأثير التناقل على جسم بجسم  $A$   
لانه اذا لم تقطع النظر عن هذا التأثير كان حل المسئلة صعبا جدا  
واذا اقتضى الحال ان الجسم يدور في دائرة محوطة فانه يتحرك على محيط  
هذه الدائرة بالقوة الثابتة التي تصير بهذا التحرك قوة عمادة وبها تعين  
سرعة سيره وهذه القوة المماسية الدافعة للجسم حتى يخرج عن المماس  
تعرض لها دائما مقاومة على محيط الدائرة المحوطة وهذه المقاومة العمودية  
على المحيط المتجهة بذلك الى جهة المركز هي القوة المركزية المساوية والمضادة  
مباشرة للقوة المبعدة عن المركز

وقد يستعمل في فن الطوبجية براميل دائرة على محورها ومحتوية على  
الرصاص المراد صقله فيلزم أن تكون صلابة هذه البراميل مناسبة أولا  
لجسم الرصاص المطروف فيها وثانيا للملرصاص من القوة المبعدة عن  
المركز المماسية لمربع القوة المماسية المستعملة لتدوير الرصاص في البرميل  
وينبغي أن يضاف الى ذلك كثير من الطنابير الدوارة المحتوية على الرصاص  
المسقول او الاكر الصغيرة المتخذة من الفخاس الموضوع في البارود المراد  
تحييته وانما اقتصرنا على التحرك المستدير للجسم المجبور على أن يتحرك فتحركه  
مضنيا لان الحبل او القضيبي او المحيط الجسم يجبر الجسم على اتباع هذا الخط  
بواسطة تأثير متجه دائما الى جهة مركز التحرك  
وهناك امثلة عظيمة تتعلق بالاجسام المتحركة بحركتها ككنا مضنيا بدون

أن تكون ممسكة برابط من الروابط المتوسطة او المحيطات الخارجة من ذلك القمر فانه يتحرك في الفراغ حول الارض بدون عائق وكذلك الارض حول الشمس (شكل ٥)

ويوجد في هذه التحركات من مبدء الامر قوة ط المماسية التي تدفع دائما القمر والكواكب السيارة دفعا مستقيما ثم ان الارض بالنسبة للقمر نقطة بورية لقوة ث المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للقمر وكذلك الشمس بالنسبة للارض فانها نقطة بورية للقوة المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للارض

فاذا توازنت القوة المركزية والقوة المماسية وكا تسا على نسبة مولفة للتحرك المستدير فان القمر يرسم في سيرة دائرة حول الارض وكذلك الارض ترسم في سيرة دائرة حول الشمس غير ان هناك اوضاعا تكون فيها القوة المماسية ضعيفة فيكون القمر حينئذ متباعد عن الارض والارض متباعدة عن الشمس وعند تباعدهما يكون اتجاههما المبعدة عن المركز مائلا بالنسبة للاتجاه المركزي وبناء على ذلك تكون القوة المركزية مضادة للقوة المبعدة عن المركز وتنقصها بحيث يزول امر القوة الاخيرة وهي المبعدة عن المركز الى كونها فوق قليلا القوة الاولى وهي المركزية فيقرب الكوكب المتحرك حينئذ من مركز تحركه وهذا هو سبب كون القمر يرسم حول الارض والارض ترسم حول الشمس منحنيًا ممتدًا وهو قطع ناقص تكون الارض نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه القمر والشمس نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه الارض

والقوة المركزية للارض بالنسبة للقمر هي القوة التي تسحب بقوة التناقل والتجاذب كما سبق وهي القوة التي تهبط بها الكوكب المرمية من اسفل الى اعلى وتجبرها على رسم منحني كمنحنى **ا ب ث** (شكل ٦) اذا رميت رميا مائلا فاذا كانت قوة التناقل ثابتة ولم يحصل من الهواء مقاومة لتحرك الاجسام المرمية فيه فان الجرا والكملة او الطيارة

او نحو ذلك يرسم من أول دفعة فحصل له من القوة الاصلية قطعاً بمكاناً  
مثل أ ب ث

ومقاومة الهواء الحقيقية تنقص بها المسافة المغطاة بالتحنى وتسطح بها

المسافة الثانية من القطع المكافئ الوهمي ويحدث عنها منحنى ا هـ ف

والغرض المهم من تجارب فن الطوبجية هو انه بحسب مجسمات وبحجوم  
الكلل والجبب والرصاص ونحو ذلك وكذلك بحسب القوة التي ترمى بها  
تلك الاشياء واتجاه الدفعة الاصلية تعين النقط التي يمكن وصول المرمى  
اليها على ارتفاعات متنوعة وابعاد مختلفة ولان ذلك كثر هنا من علم  
الميكانيكا الا لتطبيقات العقلية التي تحدث عنها القضايا النظرية التي تخص  
فن الطوبجية

وقد ثبت الآن عند الاقترنج ان الارض غير ساكنة ولا موضوعة كنقطة  
ثابتة في مركز العالم بل تدور بسرعة على نفسها بحيث تكمل دورتها  
في ظرف اربع وعشرين ساعة وهي مدة الليل والنهار وعليه فبدوران هذه  
الكرة ينتقل سكانها القاطنون على خط الاستواء من المغرب الى المشرق  
مع سرعة اكبر من سرعة الماشي مشياً معتاداً اربعمائة مرة

فاذن تكون كل نقطة من نقط الارض مدفوعة بقوة مماثلة تكاد تنقلها  
بعيداً عن الكرة المذكورة وبقوة مركزية ~~تساوي~~ تكاد تجذبها نحو المركز وهذه القوة  
المركزية هي السمة جذب الارض وحيث ان تأثير القوة المماسية واحد تقريباً  
في سائر الاجسام الموضوعة بجوار بعضها فان هذه الاجسام المتحركة بتأثير  
تلك القوة تكون على حالة بحيث تكاد ان تكون ساكنة

وليكن (شكل ٧) مسقط الارض موازياً لخط الاستواء بحيث يكون  
خط الاستواء والموازيات كلها دوائر ولتقابل بين ت ح ر نقطتي هـ و ا  
الموضوعتين احدهما على خط الاستواء وهو هـ هـ هـ والاخرى على مواز  
ايا كان كوازي ا ا ا وغد نصف قطر و ص قريباً جداً من قطر هـ و هـ

فأنازلنا بمودى  $\overline{مه}$  و  $\overline{س ص}$  على  $\overline{هوه}$  كان نصف القطر  
وهما  $\overline{وا}$  و  $\overline{وه}$  مناسبتين بدهاة لخطى  $\overline{هس}$  و  $\overline{اسه}$  الدالين على  
القوتين المبعدين عن المركز المنسوبتين لنقطتي  $\overline{ه}$  و  $\overline{ا}$  الماديتين  
فأذن تكون القوة المبعدة عن المركز الواقعة على كل نقطة مناسبة لبعدها المحور  
عن هذه النقطة وهذا في حالة تحرك الأرض حول محورها

وعلى ذلك تكون القوة المبعدة عن المركز كبيرة مهما أمكن في نقطتي  $\overline{ه}$  و  $\overline{ه}$   
الموضوعتين على خط الاستواء وبهذه القوة نعدم جزء من تناقل الأجسام  
ثم إن تناقل الأجسام في خط الاستواء يكون صغيرا عما إذا كان  
في نقطة ما من نقط الأرض وسيأتى قريبا كيفية تحقيق ذلك بالتجربة

ولنفرض أن برج  $\overline{هف}$  يكون مبنيا في نقطة  $\overline{ه}$  فأذا رجعتا من نقطة  $\overline{و}$

التي هي المركز قوس  $\overline{فص}$  ومددنا  $\overline{صس}$  عمودا على  $\overline{وف}$

حدث هذا التناسب وهو  $\overline{وه} : \overline{وف} :: \overline{هص} : \overline{فص}$   
وهذه هي نسبة القوى المماسية \*

فأذا وقعنا من  $\overline{ف}$  التي هي رأس البرج جسمنا فان هذا الجسم يصل

إلى أسفل البرج حين يكون الرأس في نقطة  $\overline{ص}$  ويكون مدفوعا بالقوة

المماسية التي تجبره على قطع  $\overline{فص}$  فأذن يلزم أن هذا الجسم حين يكون

أسفل البرج في نقطة  $\overline{جس}$  لا يقع في هذه النقطة فقط بل يقع أيضا في نقطة  $\overline{ز}$

على بعد  $\overline{هز} = \overline{فص}$  ولنوضح ذلك بالأرقام فنقول

إن نصف قطر الأرض في خط الاستواء يساوى ٦٣٧٦٤٦٦ مترا

ولنفرض أنه في إحدى المدن التي على خط الاستواء بنى برج ارتفاعه مائة متر

والمطلوب معرفة فاصل مرعة النقطتين الماديتين الموضوعتين أحدهما

في أسفل البرج والاخرى في رأسه فيكون نصف قطر المحيط المقطوع باحدى  
النقطتين ٦٣٧٦٤٦٦ متر والمقطوع بالاخرى ٦٣٧٦٥٦٦ متر  
والنسبة المنعكسة لهذين العددين هي نسبة السرعة المتكررة ومما يسهل  
ملاحظته ان النقطة العليا تقطع في يوم واحد زيادة عن النقطة السفلى مائة متر  
مضروبة في النسبة الحاصلة بين المحيط ونصف القطر ويحدث من ذلك  
٦٢٨ متر وكسور فاذا كان هذا الجسم ثقيل وخلي لثقله الاصل في محل خال  
عن الهواء فانه يهبط مائة متر في خمس ثوان بالابتداء من احدى نقط محيط  
خط الاستواء وذلك يساوي  $\frac{17280}{36}$  جزء من اليوم فاذا قسم ٦٢٨ متر  
على ١٧٢٨٠ تحصل معنا الكمية التي يقرب بها اعلى البرج من جهة  
المشرق اكثر من قرب اسفله اليه امدة سقوط هذا الجسم وسيأتى ان الجسم  
الثقيل لا يقع في أسفل البرج على مستقيم رأسى بل يتحول الى شرقيه بعد قدره  
 $\frac{17280}{17280} = 36$  مليمترا تقريبا

وحيث ان مقاومة الهواء تطغى سقوط الاجسام لزم لسقوطها من ١٠٠ متر  
اكثر من خمس ثوان فعلى ذلك يتحول الجسم الثقيل عند سقوطه من اعلى البرج  
الى جهة شرقي اسفله بعد اكثر من ٣٦ مليمترا وقد دلت التجربة على ذلك  
ومتى دار جسم صلب حول محور احدثت جميع نقطه في زمن واحد دورة  
كاملة وكانت سرعتها المتكررة مناسبة للمحيطات وبذلك تكون ايضا مناسبة  
لانصاف اقطار الدوائر التي تقطعها هذه النقطة

وفي دائرتين مختلفتين يكون مركزهما في مركز التحرك ويكونان حاملتين  
مع الانتظام اجزاء مادية تكون كمية هذه الاجزاء مناسبة لنصف القطر  
فاذن يكون فيهما كمية التحرك (اعنى حاصل ضرب الجسم في السرعة)  
مناسبة لنصف القطر مضروبا في نصف القطر اعنى لمربع نصف القطر  
وينتج من ذلك في الآلات التي يستعملون فيها العجلات المخوفة الهتوية على  
نضيبين مستديرين عرضهما واحد كقضبي ا ب ث و ا ر ث

(شكل ٨) ان كمية التحرك التي بها يدفع القضيبان المذكوران عندما يتحان دورانهما في زمن واحد تكون مناسبة لمربع نصف قطر العجلات المذكورة فاذا كانت مجسمات العجلات متساوية كان تدوير الكبيرة اصعب من الصغيرة مثلا اذا كان  $\overline{ا ب ث}$  اكبر من  $\overline{ا ر ث}$  ثلاث مرّات واثقل منه ايضا ثلاث مرّات فتي اريد تدوير  $\overline{ا ب ث}$  دورة كاملة في الزمن الذي يراد فيه تدوير  $\overline{ا ر ث}$  لزم لذلك ضرب ثلاث مرّات في نفسها اي تسع مرّات بقدر كمية التحرك فاذا جعلنا  $\overline{ا ر ث}$  اقل من الاول ثلاث مرّات بدون أن يكون كبيرا فانه يكفي أن تضعف هذه الكمية ثلاثا لتبقى السرعة على حالها فتكون الكمية المذكورة اضعف من الكمية التي تدفع  $\overline{ا ب ث}$  لان هذه القوة اكبر منها تسع مرّات

وبناء على ذلك اذا كان المطلوب حصر كمية عظيمة من التحرك في مجسم مادي معلوم فالاصوب تقسيم هذه المادّة على محيط كبير القطر ومن المهم في كثير من الآلات حصر كمية عظيمة مهمامكن من التحرك في مجسم لا يؤثر بثقله على نقط الارتكاز كثيرا فهذه الواسطة اذا عرض خلل او حدث عارض من عدم تساوى التحركات ونشأ عنه اسراع او بطئ مضر فإن العجلة المدفوعة بتحريك دوران ثابت ~~تكتسب~~ او ينعدم منها كمية من التحرك كبيرة بالكفاية من غير أن تغير سرعتها كثيرا والذي اقول ان العجلة المذكورة تكون بمنزلة المحافظ او المنظم الذي يؤثر غالبا تأثيرات نافعة ويطلق على محافظ القوى اسم الطيارات

وعوضا عن أن نجعل المحافظ على صورة قضيب متواصل مثل  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٨) فنحصر غالبا المعاداة المطلوب توزيعها على قضيب  $\overline{ا ب ث}$  في ثلاث نقاط او اربعة متساوية البعد عن بعضها كنقط  $\overline{ا}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  (شكل ٩) او  $\overline{ا}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  و  $\overline{د}$  (شكل ١٠) وحينئذ يكون لهذه المادّة التي على بعد متوسط من مركز الدوران كمية واحدة من التحرك بالنسبة لسرعتها الثابتة

ولنبرهن على ان نقطة  $و$  التي هي مركز دوران الطيارات تكون مركز ثقلها ايضا فنقول ان العجلة بدون ذلك تكون دائما مجذوبة من جهة اكثر من الاخرى فلا يكون محور كها منتظما ولا منسقافلا بد لحصول النفع من تحقق هذا الشرط وهو أن نأخذ مركز الطيارة ونجعل مركز ثقلها في الاثقال التي تتخذ منها تلك الطيارة فهذه هي القاعدة التي جرى بها العمل في (شكل ٩) و (شكل ١٠)

واما الدعوى النظرية التي سنذكرها فلا بد منها لصناع السفن والساعاتية وصناع الآلات غير أنه في كثير من المدن يحجز العملة عن اتباعها فيجوز للمعلم أن يضرب عنها صفحا

وهذه الدعوى هي التي يبرهن بها في الاجسام الصلبة التي تدور حول المحور كما تقدم في الكرة الارضية على ان القوة المبعدة عن المركز تكون مناسبة لبعده المحور عن كل نقطة مادية

ولذلك نفرض ان مستوى شكل ١٢ يكون عموديا على هذا المحور المين

بنقطة  $غ$  ولتكن النقط المادية المتساوية في الجسم وهي  $م$  و  $م$  الخ و  $م$

و  $م$  الخ هي التي يتركب منها جسم  $ا ب ش د$  فتكون ابعاد  $غ م$

و  $غ م$  الخ و  $غ م$  و  $غ م$  الخ مناسبة للقوى المبعدة عن المركز وربما كانت دالة عليها

ولنفرض أن مركز الثقل يكون على محور  $غ$  ونعد عدة  $م$  و

$م$  و  $م$  الخ و  $م$  و  $م$  الخ على مستقيم كستقيم  $س غ$  و

المجموع محورا لمقادير افعال  $م$  و  $م$  الخ و  $م$  و  $م$  الخ فيحصل

اولا  $م \times غ + م \times غ + \dots = م \times غ + م \times غ + م \times غ$  الخ

وثانيا  $م \times م + م \times م + \dots = م \times م + م \times م + م \times م$  الخ

اعني انه يكون لقوى  $غ م$  و  $غ م$  و  $غ م$  الخ

المبعدة عن المركز المقسومة قسمًا عموديا على مستقيم  $س غ ص$   
 وقسمًا موازيا له محصلة معدومة على أي اتجاه تقسم عليه هذه القوى  
 بالتوازي لمستوى الشكل وحيث لا تكون محصلة القوى المذكورة الموازية  
 لهذا المستوى جاذبة للمحور المار بمركز ثقل الجسم إلى جهة أكثر  
 من الأخرى

ولنفرض الآن أن مركز الدوران وهو  $غ$  يكون في بعد  $غ غ$  من مركز  
 ثقل  $غ$  على محور  $س غ ص$  الموازي لمحور  $س غ ص$  فتكون  
 محصلة قوى  $م غ م$  و  $م غ م$  الخ و  $م غ م$  الخ الجديدة المبعدة عن المركز  
 المقسومة بالتوازي إلى  $غ غ$  هي

$$\begin{aligned} & م \times م + م \times م + \dots - م \times م - م \times م - \dots \text{ الخ} \\ & \text{ولا تتغير هذه المحصلة إذا طرحتا منها مقدار } م \times م + م \times م + \dots + \dots \\ & \text{وكذلك لا تتغير إذا زدنا عليها مقدار } م \times م + م \times م + \dots + \dots \\ & \text{المساوي له غير أنه ينبغي التنبيه على أن } م - م = م - م = \dots \\ & \dots = م - م = م - م = \dots \text{ الخ} \\ & \text{فإن يكون ما تحصل من الجمع والطرح المفروضين هو مجموع مجسمات}$$

$م + م + \dots + م + م + \dots$  مضروب في  $غ غ$   
 فعلى ذلك إذا دار جسم حول محور  $س غ ص$  الذي لا يمر أصلا بمركز ثقله  
 وهو  $غ$  فإن محصلة القوى المبعدة عن المركز تتزايد بالنسبة لبعدها عن المحور  
 عن المركز وتكون باقية على حالها واحدة إذا فرضنا أن سائر أجزاء الجسم تكون  
 كثيفة في مركز  $غ$

ثم إن تأثير القوة المبعدة عن المركز يكاد يقل المحور عن موضعه ويجذبه دائما



الى جهة مركز الثقل وهذا ضرر ينبغي اجتنابه في اغلب آلات الدوران لاسيما في الآلات التي تستعمل فيها الطيارات ومن هنا القاعدة المطردة وهي انه يلزم أن يكون مركز ثقل الطيارة موجودا على محور الدوران ولنعتبر ان تأثير القوى المبعدة عن المركز يقوم بالتوازي للمحور ولنفرض (شكل ١٢) ان مستوى الشكل يكون مستويا للمحور

ونرمز الى هذا المحور بخط س غ ص مع جعل نقطة غ مركز ثقل الجسم ثم قطع الجسم بمستويات عديدة مثل م د و م د و م د الخ عمودية على المحور وليكن على مستوى الشكل نقط م و م و م الخ دالة على مساقط مراكز ثقل النقاط المادية المحصورة في كل مستوي فتكون محصلة سائر القوى المبعدة عن المركز مينة بمحصلة قوى م د و م د و م د

و م د الخ ثم انه يلزم لاجل تعيين محصلة هذه القوى تحصيل ح التي هي محصلة القوى الموضوعة في احدى جهتي المحور وتحصيل خ التي هي محصلة القوى الموضوعة في الجهة الاخرى منه فاذا كانت قوتا

ح و خ موجودتين على عمود واحد على المحور وكان هذا المحور مارا بمركز ثقل الجسم فان هاتين القوتين يكونان بالضرورة متوازيتين وبناء على ذلك لا يمكن أن يتحرك المحور في جهة ما بتأثير القوى المبعدة عن المركز لكن

كما في شكل ١٢ اذا كان عمودا ح د و خ د الممتدان على محور س غ ص لا يتسبان المستقيم واحد فان المحور يكون مجبوراً على الدوران

بتأثير قوتي ح و خ المضروبتين على اتبناظر في بعدي غ د و غ د و يتحمل مقدارا ح و خ بالنسبة لمركز ثقل غ بضرب قوة م

م د في غ د وقوة م د في غ د وقوة م د في غ د وقوة م د في غ د في غ د وهم جراثم ينظر هل مجموع مقادير القوى المؤثرة في جهة

مسواول مجموع مقادير القوى المؤثرة في الجهة المقابلة لها ام لا  
وقد يبرهن بطرق حسابية لاجابة الى ذكرها هنا على ان مساواة المقادير  
الاعتيادية شرط لا بد منه في جعل مقدار انزسي الجسم المأخوذ بالنسبة لمحور

س غ ص نهاية كبرى او صغرى

واذا اريد ان محاور الطيارات وسائر المحاور المستعملة في آلات الدوران لا يقع  
عليها من تأثير القوى المبعدة عن المركز ضغط في اى جهة كانت لزم تنظيمها بحيث

تكون قوتا ح و خ موضوعتين دائماً على مستقيم واحد عمود على  
المحور في الزمن الذي يكون فيه هذا المحور ماراً بمركز الثقل .

وما يكون للمحاور المستوفية لهذا الشرط من عظيم النفع في تحريك الآلات  
يؤيد تسميتها بالمحاور الاصلية .

وبعد تعيين الانجاء الكثير القائد الملائم لمحور الطيارات يلزم معرفة السرعة  
التي تكون للطيارات عندما يستعمل في تحريكها قوة معينة ويكون حجمها  
ومحجمها معينين ايضا

ولاجل مزيد السهولة نقرض ان محور الدوران عمود على مستوى شكل ١١  
وليكن مينا نقطة و فيدور الجسم حول هذا المحور بواسطة قوة

ف ف على بعد و ف الذي هو بعد المحور المذكور ونقرض ف ف  
في مستوى الشكل المتقدم

فيكون الجهد او مقدار ف ف المعد لتدوير المهور مينا بكمية  
ف ف x و ف

وتكون السرعة المتزوية وهي ٢ التي يأخذها الجسم هي القوس المقطوع  
مدة وحدة الزمن على الدائرة التي يكون نصف قطرها مأخوذاً وحدة لها  
فتقطع م التي هي النقطة المادية من الجسم في مدة وحدة الزمن قوس م م

$$\overline{A} \times \overline{W} =$$

فتكون  $\overline{M}$  التي هي كمية التحرك حيث  $\overline{M} \times \overline{A} \times \overline{W}$  وتكون  
الكمية الكلية لتحرك قط الجسم وهي  $\overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} \times \overline{A}$

$$\overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \dots \}$$

ولاجل قياس التأثير الحاصل من كل عنصر بواسطة كمية التحرك المذكورة

لاجل تدوير المحور يلزم تحويل سائر نقط  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  الخ الى مستقيم

نـ و من احدى جهتي المحور بدون أن يتغير بعدها عن هذا المحور وعلى ذلك

فسائر القوى المماسية التي تدفع  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  الخ وهي القوى

المدلول عليها بكميات التحرك المتحصلة معنا سابقا تكون متوازية

ومتجهة الى جهة واحدة وتكون محصلتها وهي  $\overline{R}$  بموجب قاعدة مقادير

القوى معلومة من ضرب كل قوة في بعدها عن المحور فاذن يكون

$$\overline{R} \times \overline{W} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \dots \}$$

او يكون على سبيل الاختصار

$$\overline{R} \times \overline{W} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \dots \}$$

وتكون قوة  $\overline{R}$  باقية على حالتها وكلما تزايد مجموع  $\overline{M} \times \overline{W}$

+  $\overline{M} \times \overline{W} + \dots$  تناقصت سرعة  $\overline{A}$  المنزوية وبالعكس

اي كلما تناقص هذا المجموع تزايدت سرعة  $\overline{A}$  المنزوية وبناء على ذلك

يكون المجموع المذكور دالا على مقاومة الجسم للتحرك الدوراني

بواسطة الا ينسب متى اثر في هذا الجسم قوة معلومة ومن ثم قيل لهذا

المجموع مقدار الا ينسب فاذن يكون مقدار الا ينسب لنقطة مادية هو

محصلها وهو  $\overline{M}$  مضروبا في مربع بعدها عن محور الدوران ويكون

مقدار الاينرسي لجسم ما مساويا لمجموع مقادير اينرسي كل جزء من اجزائه الصغيرة جدا وبالجملة فالسرعة المتزوية التي يأخذها الجسم بواسطة قوة ما حول محوره تساوي المقدار البسيط لهذه القوة مقسوما على مقدار اينرسي الجسم وهذه هي السرعة التي قومتها

ولمقادير الاينرسي خواص مهمة جدا في علم الميكانيكا لا يمكن ذكرها هنا لان ذلك يستدعي معارف عالية ولن فرض فقط قطعتين مائتين كنتطقي

م و م (شكل ١٢) يكون مركز ثقلهما في نقطة غ ونديرهما

حول محور غ س ص العمودي على م غ م فيكون مجموع

مقداري اينرسي م و م هو

م × غ م + غ م × م ويمكن الآن محور م غ م

موازيا لمحور س غ ص فيكون مقدار الاينرسي بالنسبة لهذا المحور الجديد هو

م × غ م + م × غ م فيكون فاضل هذين المقدارين هو

م × غ غ + م × غ غ اعني مربع غ غ الذي هو بعد المحور

عن مركز الثقل مضروبا في مجموع مجسمي م و م

ولست هذه الخاصية مقصورة على قطعتين مائتين بل تجري ايضا في كثير من النقط التي يتركب منها الجسم الذي يمكن أن يكون له صورة ومجسم

حيثما اتفق وعلى ذلك مقدار الاينرسي في اتجاه س غ ص المفروض

لمحور الدوران يكون صغيرا مهما امكن متى كان هذا المحور مائتا نقطة غ التي هي مركز ثقل الجسم فاذا لم يكن مائتا بمركز الثقل المذكور فان مقدار

الايترسي يزداد بكمية مساوية لمجسم الجسم مضروبا في مربع بعد المحور  
عن مركز ثقل الجسم ولنجعل  $\overline{م ك}$  مقدار ايتريسي الجسم الذي  
مجسمه  $\overline{م}$  عندما يكون المحور مازا بمركز الثقل فيكون  $\overline{ك}$  دالا على  
طول معلوم فاذا رمى بحرف  $\overline{ك}$  الى بعد مركز الثقل عن اي محور دوران  
كان مقدار الايتريسي بالنسبة لهذا المحور  $\overline{م} \times (\overline{د} + \overline{ك})$   
وهو مقدرا يسهل حسابه بمجرد معرفة مقدار الايتريسي المعين بالنسبة  
لمستقيم مواز للمحور وممتد من مركز الثقل  
ويكون بالبداية مقدار ايتريسي سائر المحاور الموازية لاتجاه معلوم  
والموجودة كلها على بعد واحد من مركز الثقل كبعد  $\overline{ك}$  هو

$$\overline{م} (\overline{د} + \overline{ك})$$

ويمكن ان تقابل بين مقادير ايتريسي الجسم المأخوذة بالنسبة لمحاور متنوعة  
مازاة بمركز الثقل فنقول يوجد في هذه المحاور محور مقدار ايتريسيه اصغر  
من مقادير ايتريسي ما عداه من المحاور ولا مانع من تسميته بمحور الايتريسي  
الصغير وهنالك محور ثان عمودي على هذا المحور مازا بمركز الثقل مقدار ايتريسيه  
كبير مهما امكن ولا مانع من تسميته بمحور الايتريسي الكبير وثم ايضا  
محور ثالث عمودي على الاثنين السابقين لا مانع من تسميته بالمحور المتوسط  
تكون هذه الخاصة وهي ان مقدار ايتريسيه يكون في جهة  $\overline{ك}$  كبيرا  
مهما امكن وفي الاخرى صغيرا مهما امكن وهذا بالنسبة للمحورين  
المتدين اولا في المستوى الحاصل بين هذا المحور الثالث ومحور الايتريسي  
الصغير وثانيا في المستوى الحاصل بين المحور الثالث ومحور الايتريسي  
الكبير وهذه المحاور الثلاثة الشهيرة هي المعروفة بالمحاور الاصلية للاجسام  
وهي التي لوحظ من اجلها فيما سبق انه في اي جهة تكون موازية لمحور  
الجسم او عمودية عليه لا تكون القوى المبعدة عن المركز مؤثرة تأثيرا يغير به  
وضع المحاور المذكورة

وينتج من ذلك ان الجسم المتحرك دفعة واحدة حول احد محوري دورانه الاصليين يكون ملازما دائما لتحرك حول هذا المحور اذ ليس هنالك قوة مبعدة عن المركز تؤثر في جهة ثا حتى يصرف وضع الجسم بالنسبة للمحور المذكور ويؤخذ من ذلك في آلات الدوران التي يلزم أن يكون محورها ثابتا ان احد محاورها لا ينزى الاصلية يكون محور دوران للاجزاء الدائرة فاذا كان الجسم الذي كثافته واحدة في سائر اجزائه منتها بسطح دوران وكان هذا الجسم متماثلا بالنسبة لمحور السطح المذكور ظهر لك بالسهولة عند تدوير الجسم حول هذا المحور ان القوى المبعدة عن المركز لا يحصل منها تأثير يغير وضع محور الدوران وحينئذ يكون هذا المحور من محاور الجسم الاصلية

وسياتي عند ذكر آلات الدوران التي هي البكر والمخنيق والمعطاف ونحوها انه يلزم أن يكون للاجزاء المتحركة صورة سطح دوران يكون محوره محور الدوران اجتنابا لما لا فائدة له من تأثير القوى المبعدة عن المركز ثم ان تقط جميع الاجسام التي لها محور تماثل تكون موضوعة مثنى في بعد واحد من المحور على العمود النازل عليه فاذا ادير الجسم حول محور تماثله فان كل تقطين موضوعتين بهذه المثابة يكونان مدفوعتين بقوتين مبعدين عن المركز متساويتين ومتضادتين فاذن تكون هذه القوى معدمة لبعضها مثنى ولا يحدث عنها تأثير ما على المحور وبناء على ذلك كلما دار جسم حول محور تماثله لم أن يستمر على تحركه حول هذا المحور اذا خلى وقسمه

وهذا هو تأثير تحرك الدقامة وما شاكالها مما يدور حول محور تماثله الموضوع وضعا رأسيا وتستمر الدقامة على التحرك مع الانتظام بعد أن تدفع دفعة اولية بواسطة جبل او نحوه او بادارة اسفلها بالا بهام والسبابة ثم تخلى وقسمها

وقد نهنا سابقا على أن النجفات تكون متماثلة بالنسبة للمحور الرأسي المار بنقط عليتها وهذا يمكن دورانها بلا معارض حول هذا المحور بدون

أن تميل الى جهة اكثر من اخرى وهذا التأثير يمكن مشاهدته في الخفيات  
لا سيما اذا كانت معلقة في قباب مرتفعة

وفي آلات الدوران وهي الخيول او الكرسي المصنوعة من الخشب تكون تلك  
الخيول او الكرسي المعدة لركوب الانشخاص الذين يلعبون لعبة الخاتم  
موضوعة بالتمائل حول محور الدوران الراسي وبناء على ذلك اذا حركت  
هذه الالات فانها تستمر على تحركها بدون أن يحصل من اينسها جهد  
من كلا جهتي المحور

وقد تنقل قوة  $m$  مع سرعة  $v$  جسم  $m$  المقروض انه لامعارض له  
تقلا مستقيما فاذا وقعنا قوة  $m$  المذكورة على جسم  $m$  المقروض  
انه ثابت بالمحور وكانت  $L$  هي بعد القوة عن هذا المحور يلزم أن  $m \cdot v = L$   
وهو مقدار القوة بالنسبة للمحور يكون مساويا  $m \cdot (v_1 + v_2) = L$   
مضروبا في مقدار اينس الجسم بالنسبة للمحور

واذا فرضنا ان الجسم موضوع على وجه بحيث يدور حول محوره بدون  
أن يقع عليه ضغط في جهة ما فان هذا الجسم يتحرك كالكوكب لامعارض له  
ويكون لمركز ثقله سرعة تساوي  $v$  وهي مبينة بخط  $DA$  فاذن يكون  
 $v = DA$  و  $m \cdot v = m \cdot DA = m \cdot (v_1 + v_2)$   
وينتج من ذلك أن

$$DA = v_1 + v_2 + \dots + v_n = \frac{L}{m} + \frac{L}{m} + \dots + \frac{L}{m}$$

ويطلق مركز الدوران على نقطة من تقاطع امتداد اقصر بعد من المحور  
عن مركز الثقل في  $\frac{L}{m}$  تكون على بعد  $\frac{L}{m} + \frac{L}{m} + \dots + \frac{L}{m}$   
من مركز الثقل عن المحور ومتى اثرت قوة في هذه النقطة تأثيرا عموديا على  
هذا المستقيم اي المحور فانها تدبر الجسم بدون أن تدفع المحور الى جهة ما

بإذن تكون القوة المساوية والمقابلة لها معدمة لقوة الدوران الحادثة  
عن القوة الاولى بدون أن يحصل منها دنى ضغط على المحور وهذه هي خاصية  
مركز الدوران ويمكن  $\frac{K}{D} = \frac{K}{D}$  ثم فينتج أن  $\frac{K}{D} = \frac{K}{D}$  و  $\frac{K}{D} = \frac{K}{D}$  +  $\frac{K}{D}$   
ويعلم من ذلك أنه يمكن نقل المحور بالتوازي لنفسه حتى يمر بمركز الدوران  
وحينئذ ينقل مركز الدوران الى الطرف الآخر من  $D$  على المحور القديم  
وفي هذا النقل المنعكس فائدة جلية

\*(بيان البندول)\*

إذا ربطنا في طرف خيط رقيق خفيف جداً جسماً ثقيلاً لكنه صغير الحجم  
ككلمة من حديد أو رصاص أو بلاتين (وهو الذهب الأبيض) وربطنا  
طرفه الآخر في نقطة ثابتة كان للكلمة في حالة السكون وضع يكون فيه الخيط  
رأسياً ويكون مركز ثقلها في الاتجاه الرأسى للخيط المذكور وهذا هو  
البندول المعروف أيضاً بالشاقول (راجع الدرس الرابع من هذا الجزء  
شكل ١٨ مكرر) ثم إن أهمية الشاقول المتحرك والشاقول الساكن  
واحدة في الاستعمال فإذا أبعدينا الشاقول عن الخط الرأسى كان ثابتاً  
في نقطة  $\theta$  وامتدأ وبعث في التنبه عليه أنه إذا خلى الجسم نفسه  
وقطع النظر عن المقامات المتنوعة يأخذ ثقل  $A$  (شكل ١٣)  
في الهبوط بسرعة غير محسوسة تزايد شيئاً فشيئاً عندما يقرب هذا الثقل  
لمار بنقط  $A$  و  $A'$  و  $A''$  الخ من خط  $\theta$  الرأسى فإذا وصل الى  
هذا الخط استمر على سبيله وارتفع من  $A$  و  $A'$  و  $A''$  الى  $A$  اعنى يكون  
في ارتفاع نقطة  $A$  ومضى وصل الى هذا الحد أخذ في الهبوط ثانياً من  $A$  الى  $A'$  الخ  
كما هبط من  $A$  ثم يرتفع ثانياً الى  $A''$  كما ارتفع الى  $A$  ثم يقف  
في نقطة  $A$  ليهبط كالمرّة الاولى وهكذا بالتوالي الى ما لانهاية  
ويمكن بقواعد الميكانيكا اثبات قوانين التحرك المتردد المعروف بتحريك الارتجاج



ويطلق اسم البندول على الشاقول اذا استعمل لاحداث رجاء بدلا عن استعماله للدلالة على الخط الرأسي

وفي كل لحظة من هبوط البندول بالابتداء من  $\bar{A}$  الى  $\bar{O}$  يحدث من جذب الارض دفعة جديدة لهذا البندول ليقترب من مركز الارض وباتحاد هذا الجذب مع القوة المماسية  $\bar{AO}$  تسبب تحدث عجلة شديدة لاحداثها بدون تأثير خيط  $\bar{AO}$  الذي يحدث منه تأثير قوة مركزية

ولنرمز بخط  $\bar{AO}$  (شكل ١٤) الى تأثير التناقل وبمستقيم  $\bar{AS}$  الى القوة المماسية المكسبة من الشاقول عند وصوله الى  $\bar{A}$  وليكن  $\bar{AO}$  رمزا الى القوة المركزية فيحصل معنا اولان  $\bar{AO} = \bar{AS}$  وثانيا ان

قوى  $\bar{AO}$  و  $\bar{AS}$  يتحدان مع قوة  $\bar{A}$  المماسية بأن نسط  $\bar{AO}$  على  $\bar{AS}$  من مماس الدائرة في نقطة  $\bar{A}$  ثم نضيف هذا المقيط وهو  $\bar{AO}$  الى  $\bar{AS}$  اذا كان البندول هابطا ونطرحه منه اذا كان صاعدا ثانيا وحينئذ تحدث معنا القوة المماسية عقب الزمن الذي يكون فيه البندول معذلق قطع قوس يساوي  $\bar{AS}$

وهذا يؤدي الى انما عند صعود البندول في ازمته واحدة نطرح الكميات التي اضفناها الى القوة المبعدة عن المركز وحينئذ تكون هذه القوة عند الهبوط والصعود واحدة في النقط التي على بعد واحد من النقطة المنخفضة عنها وينبئ على ذلك ان هذه القوة اذا انعدمت من جهة انعدمت من الجهة الاخرى في ارتفاع واحد

وعلى ذلك فالظريية تثبت ما دلت عليه التجربة من تساوي صعود البندول وهبوطه وتماثلهما

وهناك خاصية اخرى عظيمة جدا تتعلق بالبندول وهي ان المدة الكلية للرجعتين الصغيرتين تكون واحدة تقريبا وان كان القوس المقطوع في احدى

هاتين الرجتين ضعف القوس المقطوع في الرجة الاخرى مثني او ثلاث او رباع  
وهكذا مهما كانت نسبة القوسين المقطوعين

ولاجل البرهنة على هذه الخاصية نفرض بندولين كبندولي  $\theta$  و  $\theta'$   
متساويين (شكل ١٥) و (شكل ١٦) مختلفي البعد من المستقيم

الرأسي في مبداء الرجة وليكن تأثير التناقل الممين في هذين الشكلين برمز  $\alpha$

$= \alpha$  حاصل واحد في المدة الاولى فاذا اسقطنا  $\alpha$  في  $\alpha$  على

قوس اق. و  $\alpha$  في  $\alpha$  على قوس ان كان  $\alpha$  و  $\alpha$   
هما القوتان المماستان

ولنمد خطي اص و اسم الاقبيين الى خطي ثق و ثق

الرأسيين فاذا فرضنا ان مثلث  $\alpha$  صغير جدًا وامكن جعل قوس

$\alpha$  عمودا على  $\alpha$  وكذلك على  $\theta$  فان مثلثي ا ب ص

و  $\alpha$  القائمي الزاوية يكونان متشابهين حيث ان ضلعيهما المتقابلين  
عمودان على بعضهما

وقديرهن بمثل ما تقدم (شكل ١٦) على ان مثلثي ا ب ص و  $\alpha$   
القائمي الزاوية يكونان متشابهين فاذن يحدث هذان التناسبان وهما .

$$\theta : \alpha :: \alpha : \alpha$$

$$\theta : \alpha :: \alpha : \alpha$$

لكن حيث ان  $\theta$  و  $\alpha$  متساويان وكذلك  $\alpha$  و  $\alpha$  فانه يحدث

$$\alpha : \alpha :: \alpha : \alpha$$

فاذا فرضنا الآن ان الرجة تكون قليلة الامتداد جدا فان الفاضل بين

اص وقوس اق يكاد يكون معدوما وكذلك فاضل اصه وقوس

ان وعلى ذلك تكون المسافة المتطوعة في الوقت الاول مناسبة تقريبا

لامتداد قوسى اق و ان

ويبرهن ايضا بوجه تقريبي على ان السرعة المماسية تزداد عقب الوقت الثانى

والثالث والرابع والخامس وبناء على ذلك تكون المسافة التى يقطعها البندول

الاول والثانى في كل من هذه الاوقات مناسبة لقسمى المعددة لسيار البندول

وعلى ذلك حتى كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الاول معدومة

كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الثانى معدومة ايضا وحينئذ

يصل البندولان في زمن واحد الى اعظم رجة فاذن يكون للرجات مدة واحدة

اذا قطع النظر عن التفاضلات الصغيرة جدا

ويكون لهذه الخاصية الاخيرة منفعة عظيمة في الفنون وعلوم الرصد في حالة

ما اذا تحرك البندول وخلي ونفسه وما رضى مقاومة الهواء جميع حركاته

وابطأتم بالتدريج وبذلك تنقص مسافة الرجات لكن لم تزل مدتها واحدة

فاذا كان البندول ثقيلًا جدًا كالرصاص او البلاتين كانت المقاومة التى

تعرض لهذا الجسم ضعيفة لا تغير مدة رجاته الا تغييرا قليلا فيكون معظم

هذه الرجات باقيا تقريبا على مدته الاصلية غير ان تكرر الرجات المستمر المعرض

لمقاومات الهواء الصغيرة ينقص بالتدريج مسافة الرجات ومع ذلك كله

تكون تلك الرجات متساوية تقريبا وزيادة على ذلك ينقص الفاضل الصغير

الموجود بين المدد المتتالية بحسب مخالفة هذه الرجات للرجة الاصلية

ثم ان الاجسام تكون سريرة الوقوع اذا كان مبدء وقوعها من نقط قريبة

من مركز الارض وقد علم مما سبق ان المسافتين الرأسيتين اللتين يقطعهما الجسمان

المخيلان وانفسهما للتناقل بدون معارض تكونان على نسبة منعكسة من

مربعى بعديهما عن مركز الارض

وعلى ذلك متى كانت اطوال الهندولين على نسبة منعكسة من مربع بعد  
الهندول عن مركز الارض فان رجاء هذين الهندولين تكون حاصلة في زمن  
واحد

وقد دلت الارصاد الفلكية وقياس الارض دلالة هندسية على أن الكرة  
الارضية مسطحة من جهة القطبين لان سكان الارض اذا قربوا من القطب  
قربوا ايضا من مركز الارض وبموجب ذلك اذا كان الانسان في جهة  
القطب فانه يرى الهندولين اللذين تحدث رجاءهما في زمن واحد اطول  
مما اذا رأهما وهو في خط الاستواء فحينئذ اذا كان مبدء السير من خط  
الاستواء لزم ان الهندول يتزايد بالتدريج كلما قرب الانسان من القطب  
لتكون مدة الرجاء واحدة وزيادة على ذلك يمتد طول الهندول ميديا  
في كل مكان لبعده من مركز الارض عن النقطة التي يدق فيها ذلك الهندول

وبدوران الارض ينعدم من تناقل الاجسام جزء صغير لتعادل قواها  
المبعدة عن المركز وتثبت تلك الاجسام على سطح الكرة وهذه القوة التي  
لا وجود لها في القطب تبلغ نهايتها الكبرى في خط الاستواء

وبملاحظة سببي التغير معاتعلم مطابقة العلم للتجربة ولله در المهندس بوردا فانه  
لمهارته اخترع هندولا منتظما بوامطته يحصل مع غاية الضبط قياس  
ابعاد مركز الارض عن نقط سطحها التي يتألف منها الخط الجغرافي  
الذي يبنى على قياسه الطريقة المتريية ثم ان ما وقع بين النتائج الخادثة  
في موضوعنا هذا من علم الهندسة والميكانيكا كان غريب التوافق والاتحاد  
هو من اعظم الشواهد على ما للعلوم من القوة من حيث الاستعانة ببعضها  
على فهم غوامض البعض الآخر ومن حيث انه يتوصل بها الى صحة الظنيات  
التي لا يخلو عنها كل علم ونظمها في سلك الطرق المتحدة المآل التي لا يوجد فيها  
الخطا الا نادرا بحيث تكون مثلها في القطع بصحتها

وعوضا عن أن نفرض أن التناقل يتغير ففرض أن طول خيط التعليق هو الذي  
يتغير ونفرض هندولين غير متساويين كهندولين  $\theta$  و  $\theta'$

(شكل ١٧ و ١٨) يحدث هذا التناسب وهو

اث : اث :: م : ١

فاذا كان زيادة على ذلك نسبة قوس اق : قوس ان :: م : ١

كان شكلا اثق و اثن متساويين

ولكن اغ هي المسافة التي تقطعها في زمن ط = ١ بواسطة

التناقل نقطة ا المادية المفروض انه لا معارض لها وليكن اغ = م

x اغ فيكون اغ حينئذ لا على المسافة التي يجبر تأثير التناقل جسم ا المفروض انه لا معارض له على قطعها في اوقات عدد م (وحرف م يدل على عدد غير محدود)

ونسقط اع في اغ و اغ في اغ فيحدث من مثلث اغغ

و اغغ المتساويين هذا التناسب وهو

اث : اث :: اغ : اغ :: اق : ان

وعلى ذلك فساغ و اغ اللتان قطعهما البندولان بواسطة تأثير

التناقل المكرر في زمن م بالنسبة للبندول الاول وزمن ١ بالنسبة

للتاني تكونان متساويتين لقوسي اق و ان فيحترك حينئذ البندولان

بالتناسب على قوسي اق و ان بحيث تكون ازمدة البندول الاول م

حين تكون ازمدة الثاني ١ فاذن تكون نسبة الزمنين الركينين اللذين

استغرقهما البندولان في الوصول من اعلى نقطة الى الخط الرأسي الى بعضهما

كنسبة م : ١ متى كانت نسبة طول البندول الى بعضهما :: م : ١

بمعنى انه في المحل الواحد من الارض تكون اطوال البندولين غير المتساويين

مناسبة لمربعي الزمنين اللذين استغرقهما هذان البندولان في احداث رجاءهما

واقول من عرف قانون تحزلة البندولات هو المهندس الشهير غاليليه صاحب الاستكشافات اللطيفة في ميكانيكا التأخرين وقد أجرى في ذلك عملية عظيمة تتعلق بقياس ارتفاع القباب والقبوات

وقد جرت العادة بأنه يعلق في الهياكل والسرايات بأعلى نقطة من القباب والقبوات نجفات ذات ثقل عظيم بالنسبة للعبل أو السلسلة المعلقة هي بها ويصكفي في احداث ارتفاع هذه البندولات العظيمة ادنى شئ من الهواء وقد لاحظ المهندس غاليليه مدة هذه الارتفاعات فرأى أن المدة التي يرتفع فيها بندول النجفة الواحدة عشر مرات مثلاً لا يرتفع فيها غيره الا مرة واحدة وحيث ان مربع العشرة اى عشرة مضروبة في مثلها يساوى مائة يكون البندول الاول اطول من الثانى مائة مرة فاذا كان طول البندول الصغير معلوماً فانه يحدث بأخذه مائة مرة طول البندول الكبير وبذلك يعلم الارتفاع الذى يكون لمفتاح القبة او القبوة فوق النجفة التى لقربها من الارض يسهل قياس ارتفاعها وعلى ذلك يمكن استعمال البندول في قياس الزمن بواسطة تساوى مدة رجائه الصغيرة ويمكن استعماله ايضا في قياس الارتفاعات بواسطة زيادة تلك المدة او نقصانها

وقد عرف طول البندول الذى يذب الثواني الستينية برصدخانه مدينة باريس معرفة صحيحة فكان مقداره من الامتار ٩٩٣٨٢٦٤ و ١/٢ فعلى ذلك لو انعدمت اصول الاقيسة القرنساوية بمجادنة من حوادث الزمان وتقلبات الدهر حتى صارت خفية على العقول لامكن معرفة طول المتر بمجرد النظر الى البندول الذى يذب الثواني بمدينة باريس

ولو عرف الرومان واليونان مثل هذه الطرق الناشئة من العلوم لبقيت جميع اقيستهم عندنا الى الان ولمابقى من المسائل التى لابد منها في العلوم والفنون والحرف مسألة بلا حل وبيان

ولنطلب في الكلام على هذا الامر المهم الخالص بالعلوم التى بها يتوصل

الى ضبط اشغال الانسان وان كان الزمن متقلبا غير مضبوط وبسببها تناسط الارصاد والاشغال الوقتية بمحركة الزمن المستمرة وقطع المسافات الارضية التي لا تتغير وبذلك تتحقق ثمرات مشروعات الانسان ويتخلد ذكره على عمر الازمان فتقول

ان الساعاتية اخترعوا امر ابداعيا يتعلق بالبندول وهو صناعة الآلات الدالة على الزمن المعروفة بالبندولات

ولنفرض دائرة معدنية محدبة من جهة المركز على هيئة العدسة فلذا سميت بالعدسة ونعلقها في قضيب يكون متجها الى مركزها فاذا حركت حول الطرف الاخر من القضيب المذكور حدث عن ذلك بندول كالذي يستعمله الساعاتية

وكل رجة من رجات هذا البندول الحاصلة في ازمة متساوية المواقعة للسير الثابت للبندول او الساعة الدافقة تكون بمنزلة المحافظ للقوى والمنظم لها ولا تكون هذمالا مضبوطة الا اذا كانت لا تتغير ابعاد المادّة التي تتركب هي منها حيث ان القضيب المعدن لتعليق العدسة يمتد بواسطة تأثير الحرارة وينكمش بواسطة تأثير البرودة وبذلك تكاد مدة رجات البندول تتغير دائما وقد صنعوا بندولات تعديل وهي بندولات تتعادل فيها تغيرات اطوال الاجزاء المتنوعة المركبة لها

وقد نيز انه كلما زادت الحرارة امتدّت قضبان النحاس بنسبة معلومة اكثر من قضبان الحديد وكلما قصت الحرارة انكمشت تلك القضبان بنسبة معلومة اكثر منها ايضا وبموجب ذلك استعملوا للتعليق عوضا عن قضيب واحد عدّة قضبان بعضها من الحديد وبعضها من النحاس

ولنفرض قضبان الحديد كقضيب **أ ب** (شكل ١٩) نجعل في نهايته السفلى عارضة اقضية كعارضة **ث د** عليها قضبان رأسيان من النحاس كقضبي **ش هـ** و **د ف** وعارضة اخرى اقضية بمنتصفها طوق يمر منه قضيب **أ ب** تجمع بين قضبي النحاس المذكورين ويكون

في قطبي  $\overline{ك}$  و  $\overline{ل}$  اللتين هما نهايتا العارضة المذكورة قضيبان  
 من حديد قضيب  $\overline{ك م}$  و  $\overline{ل ن}$  مجتمعان معا بواسطة عارضة  
 $\overline{م ن}$  ومثبتان في عدسة و  $\overline{و}$  حيث يعلم ان ازدياد الحرارة في هذه الحالة  
 على قضيب الحديد وهما  $\overline{أ ب}$  و  $\overline{ك م}$  اللذين على ارتفاع  $\overline{أ ع}$   
 الحقيقي يزيد تباعد نقطة التعليق وهي  $\overline{أ}$  عن مركز العدسة زيادة مناسبة  
 لارتفاع  $\overline{أ ع}$  المذكور وأن قضيب النحاس وهما  $\overline{ث ه}$  و  $\overline{د ف}$   
 عند امتدادهما بواسطة تأثير الحرارة يرفعان عارضة  $\overline{ك ل}$  ويرفعان  
 ايضا في زمن واحد قضيب الحديد وهما  $\overline{ك م}$  و  $\overline{ل ن}$  وكذلك  
 عدسة  $\overline{و}$  المعلقة فيهما فتكون الكمية التي ترتفع بقدرها العدسة بواسطة  
 تأثير قضيب النحاس مناسبة لطول  $\overline{ه ث}$  او  $\overline{د ف}$  وينتج من ذلك  
 انه اذا كان طول  $\overline{أ ع}$  و  $\overline{ه ث}$  مناسبين لامتداد النحاس في الاول  
 والحديد في الثاني يكون مركز العدسة مختفضا بامتداد الحديد بقدر الكمية التي  
 يرتفع بها المركز المذكور بامتداد النحاس وما فرضناه في ازدياد الحرارة يمكن  
 فرضه ايضا في نقصانها فتكون الكمية التي يرتفع بقدرها مركز العدسة بالنكاش  
 قضيب الحديد مساوية للكمية التي ينخفض بقدرها مركز العدسة بتأثير  
 انكماش قضيب النحاس

وقد فرضنا في جميع ما ذكرناه أن البندول ليس الا خيطا مجردا عن الثقال  
 معلقا بنهايته نقطة مادية لها ثقل ما ولكن ليس في الطبيعيات بندولات بهذه  
 المثابة فاذا استعمل في ذلك سلك لين او قضيب غير لين كان لكل من اجزائه  
 ثقل معلوم وحجم معلوم وكذلك الجسم المعتبر نقطة مادية له ثلاثة ابعاد تمنع  
 التباسه بالنقطة المادية المذكورة ولا بد من معرفة القوانين التي تكون  
 بمقتضاها رجاءات هذا البندول المعروف بالبندول المركب



ولنعلق في قطعة واحدة من محور واحد بندولين متساويي الجسم أحدهما وهو ش وبسيط (شكل ١٤) والاخر هو شدهف مركب ففي استقر هذان البندولان صار ساق البندول البسيط رأسيا ومارتا يمر مركز ثقل البندول المركب

ولندفع هذين البندولين بقوة اقضية مؤثرة على بعد كبعد ر عن المحور فيكون تأثير التناقل معدوما بالمحور في الزمن الاول ليكون للبندولين سرعة واحدة منزوية وينبغي أن يكون مركز دوران البندول المركب متباعدًا عن المحور بكمية ر المساوية لطول البندول البسيط فاذن يكون

$$\bar{r} = \bar{d} + \frac{\bar{r}}{d}$$

ولنبحث عن التأثير الذي يحدثه التناقل على البندولين عند تباعدهما عن المستقيم الرأسى فنقول

لنفرض أن التناقل يؤثر من مبداء الامر على غ (شكل ١٢) الذي هو ساق البندول البسيط المار دائما بنقطة غ التي هي مركز ثقل البندول المركب وليكن ول = غ هو الارتفاع الرأسى الذي نقيس به تأثير التناقل في البندولين في زمن يسير كزمن ط ونحل

$$\bar{ول} = \bar{غ} \text{ الى } \bar{ول} \text{ و } \bar{غ} \text{ تحللا عموديا على } \bar{شغ}$$

فيكون تأثير التناقل الحاصل على مركز ثقل البندول المركب مينا بخط

غ وتأثير التناقل الحاصل على البندول البسيط مينا بخط ول

$$= \bar{غ} \text{ لكن حيث كانت نقطة } \bar{و} \text{ موجهة في مركز دوران البندول}$$

المركب فان قوة غ المنقولة الى ول تدبر البندول كما اذا كان في نقطة و اى كالمواضع البندول البسيط بالبندول المركب

فأذن تكون السرعة المنزوية الحادثة من التثاقل واحدة في كل من البندولين البسيط والمركب وعلى ذلك يكون أولا البندولان البسيطان مستقرين بواسطة تأثيرات التثاقل المتوالية على ارتجاجهما بسرعة واحدة وثانياً يكون طول البندول البسيط هو بعد المحور عن مركز الدوران المعروف حينئذ بمركز الارتجاج فأذن متى اعتبر في بندول مركب أن محور التعليق كمحور الدوران فإن مركز الدوران يتزجج بمركز التعليق ويصيران شيئاً واحداً وقد تقدم أنه متى قل بالتوازي محور الدوران من ث الى و انقل مركز الدوران من و الى ث على مستقيم ث غ و فأذن اذا نقل محور تعليق البندول المركب من ث الى و كان مركز الراجعة منقولاً من و الى ث وموجوداً على محور التعليق الأول وقد استعملوا هذه الخاصية في تعيين وتحقيق طول البندول البسيط الذي يحصل رجائه في زمن حصول رجاء البندول المركب ثم ان البندولات المركبة وادّعاء مراكز ثقلها ومحاور تعليقها ومراكز ارتجاجها هي من اعظم المهمات في صناعة الساعات الدقيقة وغيرها من الآلات ذات الحركة المتردة لاسيما تحرك السفن عند ميلها من جانب الى الآخر او من المقدم الى اللؤخ وسيقا في في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على قوة الماء توضيح ذلك باتم وجه

\*(بيان معادل الآلات البخارية)\*

في صناعة آلات الدوران التي تختلف فيها شدة القوة كالبخار على حسب تغير النار المستعملة تستعمل البندولات المركبة لتفخ بالتدريج بمسلكها البخار عند ما يحدث منه ضغط يبلغ حدّ النهاية بحيث لو تجاوز ذلك لكان خطراً ومثال ذلك كرتان من حديد معلومتان بقضيين من حديد ايضا يرتجان على محور افقي يمر باسطوانة رأسية فاذا دارت هذه الاسطوانة حدث من دوراتها قوة مبعدة عن المركز لكل من البندولين المركبين اللذين يدوران معها

بواسطة هذه القوة ويرتفع كل منهما حتى تكون محصلة هاتين القوتين مارة  
بمحور التعليق وبذلك تكون معدومة وحيث كانت هاتان الكرتان اللتان  
مجمعهما واحد الموضوعتان على وجه متماثل بالنسبة للصور يرتفعان  
ويخفضان في كل وقت بكمية واحدة فان الطوق الذي يدور بدون مانع  
حول الاسطوانة يكون معلقا بقضيبين متصلين بساقى الهندوين فاذا كان يكون  
هذا الطوق عرضة تارة للصعود واخرى للهبوط على حسب قرب الكرتين  
وبعدهما عن المحور وقد يحرك هذا الطوق ذراع الرافعة الذي يفتح او يغلق  
كثيرا او قليلا المتخذ الذي يخرج منه البخار المتراكم ( كما ستقف على ذلك  
في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة )

\*( الدرس الثامن ) \*

\*( في بيان الرافعة ) \*

قد ذكرنا جميع ما يتعلق بتصويل التحركة كات الحادثة بواسطة الحبال اللينة جدا التي  
لا فائدة لها الا مجرد الشد بخلاف القضبان الغير القابلة للانثناء فان لها  
فائدتين وهما الدفع والشد

وهناك عدة آلات ليس الغرض منها الا ان تستعمل واسطة بين القوة والمقاومة  
التجهتين على مستقيم واحد كيد المسحكة ( شكل ٢ ) وكباشة المدفع  
( شكل ٣ ) في فن الطوبجية وكغطاف البحارة وسيقان المكابس ونحوها

ولا يشترط في القضيب الغير القابل للانثناء كقضيب **أ ب** ( شكل ١ )  
ان يكون مستقيما بل يكفي ان تكون صورة انحنائه ثابتة لا تتغير فاذا اوقعنا  
على نقطة **ب** قوة شدا وتدفع في جهة **ب أ** او **أ ب** فان تأثير هذه  
القوة يكون واحدا دائما كما لو كان القضيب مستقيما

والرافعة قضيب غير قابل للانثناء مستند على نقطة ثابتة تعرف بنقطة  
الارتكاز وواقع عليه في نقطة ثابتة تأثير قوة لاجل ابطال مقاومة حاصله  
في نقطة ثالثة وهي على ثلاثة انواع

النوع الاول ( شكل ٥ ) تكون فيه نقطة الارتكاز وهي **أ** موجودة

بين قوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$

والنوع الثاني (شكل ٦) تكون فيه مقاومة  $\overline{ر}$  موجودة بين قوة

$\overline{ح}$  ونقطة الارتكاز وهي  $\overline{أ}$

والنوع الثالث (شكل ٧) تكون فيه قوة  $\overline{ح}$  موجودة بين مقاومة  $\overline{ر}$

ونقطة الارتكاز المذكورة

ولنفرض أن الرافعة المجردة عن التثاقل تكون قضيا مستقيما كقضيب

$\overline{بأث}$  (شكل ٥) أو  $\overline{بثأ}$  (شكل ٦) أو  $\overline{أبث}$

(شكل ٧) العمودي على اتجاه القوة والمحصلة

فلإمكن انعدام جهد قوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$  الانعطية الارتكاز

وهي  $\overline{أ}$  الثابتة في الآلة دون غيرها فاذن تكون محصلة  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

مارة بنقطة  $\overline{أ}$  واذن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

اعني أن القوة مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز تكون مساوية للمقاومة

مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز أيضا

فاذا استبدلنا رافعة  $\overline{بأث}$  العمودية على اتجاه قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

برافعة أخرى مائلة مضمخة أو مستقيمة كرافعة  $\overline{بأث}$  لزم أن تكون المحصلة

دائما مارة بنقطة  $\overline{أ}$  ومن ذلك يحدث

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

وليس  $\overline{أب}$  و  $\overline{أث}$  المستقيمين وهميين عمودين على اتجاه قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

ولا جل اختصار العمليات يمكن أن نفرض دائما أن كل ذراع من الرافعة

يكون مستقيما وعمودا على اتجاه القوة الواقعة على طرفه

ولنفرض قوتين متساويتين كقوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  (شكل ٨) عموديتين

على  $\overline{أب}$  و  $\overline{أث}$  المتساويين اللذين هما ذراعاً رافعة  $\overline{بأث}$

المنكسرة فتكون هاتان القوتان مؤثرتين في جهتين متضادتين بحيث يديران

الرافعة حول نقطة الارتكاز وحيث كان التساوي حاصل في كلتا الجهتين

وكانت الآلة متوازنة فإن هذا التوازن يبقى على حاله مهما كان مقدار

زاوية  $\overline{ب\alpha\theta}$ 

ولتكن الآن قوة  $\overline{ر}$  مساوية ومقابلة لقوة  $\overline{ر}$  فتكونان متوازيتين  
 وحيتئذ تؤثر قوة  $\overline{ر}$  على مقاومة  $\overline{ر}$  كثنائية قوة  $\overline{ح}$  عليها فاذن تكون  
 $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  المتساويتان الواقعةان على طرفي ذراعي الرافعة المتساويين  
 وهما  $\overline{اب}$  و  $\overline{ا\theta}$  لهما شدة واحدة وهما دور نقطة  $\overline{ا}$  الثابتة

مثلا اذا اشربنا بمستقيم  $\overline{اب}$  بطراز مربوط به فرس يسحب على  $\overline{ح}$   
 فان تأثير الفرس الواقع على نقطة  $\overline{ا}$  يكون واحدا في سائر نقط الدائرة التي  
 يقطعها  $\overline{اب}$  مادام بعد  $\overline{ا}$  عن  $\overline{ب}$  ثابتا على حالة واحدة  
 ولنفرض الآن أن قوتين حيثما اتفق كقوتى  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  (شكل ٩)  
 يكونان واقعتين على رافعة حيثما اتفق كرافعة  $\overline{ب\alpha\theta}$  فحيث ان  $\overline{ا}$  هي  
 نقطة الارتكاز نذير  $\overline{اب}$  الى  $\overline{ا}$  بحيث يؤول  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ح}$   
 الموازى لخط  $\overline{ش}$  ويلزم أن تكون محصلة قوتى  $\overline{ر}$  و  $\overline{ح}$  مارة دائما  
 بنقطة  $\overline{ا}$  الثابتة ومن هنا يحدث

$$\overline{ر} \times \overline{ا\theta} = \overline{ح} \times \overline{اب} = \overline{ا}$$

وعلى ذلك فهما كان اتجاها القوة والمحصلة يلزم دائما أن تكون القوة  
 مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز مساوية للمقاومة مضروبة في بعدها  
 عن نقطة الارتكاز ايضا

\*(نطبق ما تقدم على تحويل الحركات)\*

اذا اريد بواسطة الجبال تحويل تحرك الى اتجاهاى  $\overline{ب}$  و  $\overline{ش}$   
 المتغايرين فانه يستعمل لذلك رافعة منكسرة كرافعة  $\overline{ب\alpha\theta}$   
 (شكل ٩) و (شكل ١٠) يربط بها حيلان او سلسلتان او جزيران  
 او سلكان معدنيان مثل  $\overline{ب}$  و  $\overline{ش}$  وتكون نقطة  $\overline{ا}$  التي هي  
 رأس زاوية  $\overline{ب\alpha\theta}$  ثابتة على محور صغير تدور حوله الرافعة وهذا النقطة  
 هي نقطة ارتكاز الرافعة المذكورة

فاذا اقتضى الحال تحويل تحرّكات صغيرة فانه بواسطة شدّ سلك  $\overline{ح}$  (شكل ١٠) تنتقل  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ـ}$  ويكون قوس  $\overline{بـ}$  مغايرا قليلا لحزم من مستقيم  $\overline{بـح}$  وبناء على ذلك لا يتغير اتجاه سلك  $\overline{بـح}$  ولا اتجاه سلك  $\overline{شر}$  المشدود بالذراع الثاني من الرافعة كما ان الذراع الاول منها مشدود بالسلك الاول

وهذه هي الكيفية المستعملة في توجيه السلوك المعدنية الواصلة من الجرس الموضوع بقرب الاماكن التي يكون فيها الخدم الى المكان الذي يكون فيه المنادى وتستعمل السلوك والرافعة المنكسرة في الآلات الكبيرة لاجل تحويل التحركات المترددة

ولنفرض ان المطلوب في مجرى المكبس رفع مكبس  $\overline{مـم}$  (شكل ١٢) وخفضه بواسطة قوة افقية نشده في اتجاه  $\overline{بـح}$  فن البدئي انه اذا شدّ سلك  $\overline{بـح}$  في جهة السهم بواسطة الرافعة القائمة الزاوية وهي  $\overline{بـاـث}$  يرتفع ذراع رافعة  $\overline{اـث}$  ويرفع مكبس  $\overline{مـم}$  واذا اريد أن  $\overline{ثـط}$  الذي هو ساق المكبس يكون دائما على رأسي واحد لزم أن يكون دائما مماسا لقوس  $\overline{ثـش}$  الصلب المرسوم من نقطة  $\overline{أ}$  المأخوذة من  $\overline{كـزـا}$

فاذا افلتنا سلك  $\overline{بـح}$  فان نقل المكبس يوصل الرافعة الى وضعها الاصلى ثم يأخذ هذا السلك في التأثير ثانيا لاجل رفع المكبس وقد تطلق التحركات المترددة على التحركات التي تحصل بالتعاقب في جهتين ويؤخذ من درجات البندول شاهد عظيم على مثل هذه التحركات

وقد تطبق عملية الرافعة المنكسرة على النشر تطبيقا مفيدا بواسطة علم الميكانيكا

فيلصق منشار  $\overline{دـض}$  (شكل ١٣ مكرر) من نقطة  $\overline{ل}$  بساق  $\overline{دـث}$  ومن نقطة  $\overline{ث}$  بذراع  $\overline{ثـا}$  من رافعة  $\overline{ثـاـب}$  مع تأثير قوة  $\overline{ح}$  على ساق  $\overline{بـح}$  غير القابل للاثناء فاذا شدّ  $\overline{بـح}$  رسم ذراع الرافعة وهو  $\overline{اـث}$  قوسا وكان المنشار مشدودا من جهة الرافعة

ومنى دفع **ب ح** حصل تأثير مضاد وكان المنشار مدفوعا بالرافعة  
ولهذا كان في علم الميكانيكا ما يماثل بين تحرك النشابين (شكل ١٣)  
الذين تكون اعضاؤهما هي **ش ا ب ح ر ض و** شاح ر ضه  
رافعتين منكسرتين

ويمكن بواسطة الرافعة توازن القوة الكبيرة مع القوة الصغيرة \* مثلا اذا كانت  
المقاومة اقرب لنقطة الارتكاز من القوة بمائة مرة تقطعت بذلك مسافة  
لا تبلغ هذا القدر عند حصول التحرك لزم بمقتضى التعديل أن تكون المقاومة  
اكبر من القوة مائة مرة (فاذا كان حاصل ضرب المقاومة في ذراع رافعتها اقل  
من حاصل ضرب القوة في ذراع رافعتها كان التحرك حاصلًا في جهة القوة  
وكانت الآلة سائرة الى جهة الامام الا أن سيرها يكون بواسطة جزء من  
القوة لم ينعدم بالكلية لاجل توازن المقاومة فاذن يلزم طرح هذا الجزء  
مما اريد تحصيل جزء القوة الذي لا بد منه في حصول التحرك)

هذا وقد زعم من لا معرفته بقواعد علم الميكانيكا مستغرا بهذه النتيجة  
انه يمكن احداث القوة بواسطة الآلات ومقتضاه انه يمكن بواسطة قوة صغيرة  
ابطال مقاومة متوسطة وحفظ ما يبني من القوة الكافية لتحصيل التأثيرات  
العظيمة وذلك لان القوة الصغيرة على زعمه توازن القوة الكبيرة

ويكنى في الوقوف على خطأ هذا القول اعتبار تحرك الرافعة فاذا فرضنا  
ان قوتي **ح و ر** (شكل ١٠) متوازتان بواسطة رافعة **ا ب**  
ثم زدنا القوة الاولى عن الثانية قليلا فان التوازن ينعدم ويكون التحرك حاصلًا  
حيث ان ذراع الرافعة وهو **ا ب** ياخذ في الدوران في جهة **ب ح**  
الذي هو اتجاه القوة الكبيرة والذراع الآخر وهو **ا ث** يدور في جهة  
**ث ر** المصابة لهذه القوة المقاومة فيقطعان في وقت ما زاويتين متساويتين  
كزاويتي **ب ا ر** و **ث ا ح** فاذن يكون قوسا **ب ر** و **ث ح**  
الذان قطعتهما نقطتا **ب و ث** مناسبين لطول ذراعي الرافعة  
وهما **ا ب و ا ث** (ولنفرض أن هذين الذراعين يكونان عمودين

على اتجاها القوتين المقابلتين لهما)

لكن حيث ان  $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{اث} : \overline{اب}$

يكون  $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{قوس ث} : \overline{قوس ب}$

فعلى ذلك تكون قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  مناسبتين تناسباً متعاكساً للقوسين اللذين تقطعهما نقطتا وقوعهما عند فرض اختلال التوازن

وبهذا البرهان يظهر أن القوة الموازنة للمقاومة تكون مجبورة على قطع قوس كبير بقدر صغرها بالنسبة للمقاومة فيلزم حينئذ أن القوة في المسافة التي قطعها تفقد ما اكتسبه بنفسها لاجل توازن المقاومة فاذن تكون كمية التحرك المقيسة بحاصل ضرب كل قوة في المسافة المقطوعة واحدة في جهة المقاومة بدون امكان زيادتها فان هذه القاعدة الشهيرة التي ذكرناها عامة في جميع الآلات ولا يمكن فيها اصلاً ازدياد كمية التحرك فاذن يثبت استحالة احداث القوة

فاذا اخذنا مدة التحركين الحادتين من قطعتي  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  وجعلناها وحدة (شكل ١٠) فان مساقتهما وهما  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  بدلان على سرعتيهما ويطلق اسم السرعة المنبهة على السرعة التي تأخذها  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  اللتان هما نقطتا وقوع القوة والمقاومة اذا اختل التوازن قليلاً جداً على حين غفلة ويعبر في الرافعة عن هذا التساوي وهو  $\overline{ح} \times \overline{ب} = \overline{ر}$   $\times \overline{ث}$  بأن يقال في حالة التوازن ان القوة مضروبة في سرعتها المنبهة تكون مساوية للمقاومة مضروبة في سرعتها المنبهة

واذا فرضنا أن ذراع الرافعة وهو  $\overline{اب}$  (شكل ١١) مائل بدلا عن كونه عمودا على  $\overline{ب ح}$  الذي هو اتجاه القوة وادرنّا الرافعة قليلاً بقدر زاوية  $\overline{بام} = \overline{رام}$  وكان  $\overline{ار}$  عمودا على  $\overline{ب ح}$  الممتد فحيث ان نصفي القطرين مناسبان للقوسين يحدث هذا تناسب وهو

$\overline{اب} : \overline{ار} :: \overline{بم} : \overline{رم}$



فاذا مددنا من نقطة  $\overline{م}$  مستقيم  $\overline{م ن}$  عمودا على  $\overline{ب ح}$  الممتد  
 حدث من ذلك مثلثا  $\overline{ب م ن}$  و  $\overline{ا ب ر}$  وهما متشابهان حيث ان  
 اضلاعهما اعمدة على بعضها ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو  
 $\overline{ا ب} : \overline{ا ر} :: \overline{ب م} : \overline{ب ن}$

وذلك يقتضى أن  $\overline{ب ن} = \overline{ر م}$  وحيث انهما كانت  $\overline{ب}$  التى هى  
 نقطة وقوع قوة  $\overline{ح}$  على ذراع  $\overline{ا ب}$  فانه عند اختلال التوازن قليلا  
 وقياس المسافة التى قطعها نقطة الوقوع على  $\overline{ب م}$  الذى هو اتجاه القوة  
 تحدث سرعة واحدة منبهة مقومة على هذا الاتجاه فيحدث يكون التوازن  
 حاصل متى حدثت عن القوة المضروبة فى سرعتها المنبهة المقيسة بالوجه المتقدم  
 او عن المقاومة المضروبة ايضا فى سرعتها المنبهة المقيسة على الوجه المذكور  
 حاصل واحد على اى حالة كانت نقطتا وقوع القوة والمقاومة بفرض أن هاتين  
 القوتين يديران الرافعة فى جهتين متضادتين

وهذه هى القاعدة الشهيرة المعروفة بقاعدة السرعة المنبهة وليست مختصة  
 بالرافعة بل تجرى ايضا فى سائر الآلات وجميع ما للقوى من التراكيب  
 الوهمية وقد بنى المهندس لاغرنج الشهير على هذه القاعدة اصول الميكانيكا  
 التحليلية التى جمعها فى كتابه الشهير الذى هو من اعظم مؤلفات هذا العلم  
 ثم ان محصلة القوتين المتوازيتين على الرافعة اذا اعدمت بنقطة الارتكاز  
 تكون متساوية للضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز المذكورة

فاذن يفتى أولا انه متى كانت القوة والمقاومة متوازيتين ومتجهتين فى جهة  
 واحدة كان الضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع  
 القوة والمقاومة

وثانيا متى كانت القوتان مؤثرتين فى جهتين متضادتين كان الضغط الحاصل  
 من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لفاضل هاتين القوتين ومنجها  
 الى جهة كبراهما

وعلى ذلك ففي الرافعة التي من النوع الاول (شكل ٥) يكون ضغط  $Z$  الحاصل على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع القوة والمقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثاني (شكل ٦) يكون هذا الضغط مساويا للمقاومة ناقصا القوة ومتجها الى جهة المقاومة

وفي الرافعة التي من النوع الثالث (شكل ٧) يكون مساويا للقوة ناقصا المقاومة ومتجها الى جهة القوة فاذا لم تكن قوتا  $B$  و  $C$  و  $D$  متوازيين لزم أن نمتد اتجاهيهما حتى يتقاطعا في نقطة  $E$  (شكل ١٤) ثم نرسم على مستقيبي  $B$  و  $D$  متوازي الاضلاع لقوتي  $C$  و  $R$  وهو  $A$  و  $E$  فيكون أولا وتر هذا الشكل مارا بنقطة الارتكاز وهي  $A$  وثانياً يكون هذا الوزن  $E$  المقدار واتجاهها على الضغط الحاصل على نقطة الارتكاز

(ولیکن  $A$  و  $E$  هو متوازي الاضلاع الحادث من مد  $A$  و  $A$  الموازيين لخطي  $B$  و  $D$  بحيث ان مستقيبي  $B$  و  $D$  عمودان على مستقيبي  $C$  و  $R$  فان مثلثي  $ABE$  و  $AED$  يكونان قائمي الزاوية وزيادة على ذلك يكون كل من زاوية  $B$  من المثلث الاول وزاوية  $D$  من المثلث الثاني مساويا لزاوية  $E$  فتكونان هما ايضا متساويتين فاذاً يكون مثلثا  $ABE$  و  $AED$  متشابهين ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$A : B :: A : E$$

لكن  $A = D$  و  $B = R$  فيحدث من متوازي الاضلاع للقوى هذا التناسب وهو

$$C : R :: D : E$$

$$C : R :: A : E$$

$$C \times R = A \times E$$

وحينئذ تكون نقطة  $A$  المأخوذة في النقطة التي يتقاطع فيها وتر متوازي

الاضلاع للقوى مع رافعة **ب ا ث** هي في الحقيقة نقطة الارتكاز وفائدة ذلك اظهار الاتحاد بين امرين متباينين

فاذا كان هناك عدد مامن القوى مثل **ح و خ و ر و ض و ط**  
(شكل ١٥) الواقعة على رافعة **ث ب ا د ه ف** ونزلنا اعمدة

**ا ح و ا خ و ا ر** الخ على اتجاه كل من هذه القوى ثم اخذنا أولا لمقادير القوى التي تدير الرافعة في جهة مجموع حواصل ضرب كل قوة في ذراع رافعتها وثانيا مجموع الحواصل المقابلة لمقادير سائر القوى التي تكاد تدير الرافعة في جهة مضادة للمقدمة **ك** كان التوازن حاصلًا اذا كان هذان المجموعان متساويين وحينئذ يعلم شرط التوازن من هذا التساوي وهو

$$ح \times ا ح + خ \times ا خ = ر \times ا ر + ض \times ض ضه الخ$$
  
وحيث انهينا الكلام تفصيلا على ما يتعلق بنظري الرافعة حتى أن نتكلم على ما يتعلق بذلك من الاحوال الخصوصية الاصولية وعملياتها فنقول

\*( بيان الرافعة التي من النوع الاول ) \*

الرافعة البسيطة المنتظمة هي ما كان ذراعاها متساويين والتوازن فيها مستلزما لتساوي القوة والمقاومة ايضا ومن هذا النوع الميزان فهو كما في شكل ١٦ كناية عن رافعة ذراعاها وهما **ا ب و ا ث** متساويان وتعرف بقب الميزان ونقطة ارتكازها وهي **ا** محمولة على لسان **ل م ن** وعلى هذا اللسان محور **ل ا د** الافقي الذي يمكن أن يدور حوله قب الميزان وفي كلتا نهايتي هذا القب كفتان مستديرتان (شكل ١٦) او مربعتان (شكل ١٧) مربوطتان بسلاسل او خيوط ولا بد أن يكون ثقل الكفتين واحدا وأن تكونا متشابهتين وابعادهما واحدة وخيوطهما متساوية ومحور ثقلهما ما زال مجردا عن ثقلهما وأن يكون الوضع الاصلي لتوازنهما هو الوضع الذي

الذي يكون فيه هذا المحور رأسيا بحيث اذا وضع في مركز ثقل الكفتين شيء  
يراد وزنه تكون هاتان الكفتان باقيتين على وضعهما الاصلى ولا يكون الشيء  
الموزون عرضة للسقوط بسبب ميل احدى الكفتين من جهة اكثر من الاخرى  
فيوضع في احدى الكفتين ثقل  $\overline{ح}$  الذي هو كناية عن قوة  $\overline{ح}$  وفي الثانية  
الشيء المطلوب وزنه الذي هو كناية عن مقاومة  $\overline{ر}$  حتى كانت هاتان  
القوتان متساويتين وكان قب الميزان اقصيا فان شرط التوازن يكون  
$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

فاذا لم يكن  $\overline{أب}$  مساويا  $\overline{أث}$  بل كان اصغر منه لزم أن تكون  $\overline{ح}$   
اكبر من  $\overline{ر}$  ليكون الحاصلان باقيين على تساويهما فعلي ذلك اذا كان  
ذراعا الميزان غير متساويين ووضعت الصنجة في جهة اصغرهما فانه يوازنها  
من البضاعة ما يكون دونها في الثقل وهذا ما يسلكه اهل الفس الخسرون  
في موازينهم الفاسدة فاذا اردت انظها رغبتهم فضع الصنجة موضع البضاعة  
الموزونة وهي موضع الصنجة فحيث ان القوة الصغيرة في نهاية الذراع الصغير  
من الرافعة ينعدم التوازن بين الصنجة والموزون

وقد استعملوا في كثير من الفنون والتجارب التي عملها الكيميائيون  
والطبيعيون والمهندسون كيفية لا تتعلق بضبط الميزان في شيء حيث يضعون  
في احدى الكفتين جسم  $\overline{ر}$  الذي يراد وزنه وفي الكفة صنج  $\overline{ح}$  التي توازنه  
ثم يرفعون ذلك الجسم ويضعون بدله انقالا جديدة تجمع حتى توازن الصنج  
المدكورة بجسم  $\overline{ر}$  فهذه الانقال الجديدة تدل ضرورة بمجموعها على ثقل  
جسم  $\overline{ر}$  مع الضبط

ولا جل اختبار ما يتعلق بالميزان اختبارا تاما بل لزم اعتبار ثقل الكفتين وقب  
الميزان ولا بد من وجود التوازن من مبداء الامر قبل وضع اي ثقل في الكفتين  
ولا بد ايضا أن يكون ذراعا الرافعة متعديين في الثقل والطول وأن يكون مركزا  
ثقلهما على بعد واحد من المستقيم الرأسي الممتد من نقطة الارنكار او من  
محور قب الميزان

فإذا كان أب و ا ذراعى الميزان و غ و ش مركبى تعلقهما  
 يلزم أن يكون س الذى هو ثقل ذراع أب المحصور فى غ متوازنا  
 مع ص الذى هو ثقل ذراع ا المحصور فى ش فاذن يكون  

$$س \times ا \times غ = ص \times ش$$

وإذا كان غ و ش نقطة الارتكاز وهى ا على مستقيم واحد  
 كان التوازن حاصلًا دائمًا على أى حالة كان ميل الرافعة وفى هذه الصورة  
 لا يأخذ الميزان وضعًا مخصوصًا إلا إذا وضع فيه انقال اجنبية وبالجلة فادنى  
 زيادة فى الثقل تجذب احد ذراعى الميزان الى اسفل ويحصل من ذلك تحرك  
 غير محدود

وينبغى مزيدًا للاهتمام بجعل مركبى غ و ش اخفض قليلا من نقطة  
 الارتكاز (شكل ١٨) لكن بشرط أن يكونا فى ارتفاع واحد اذا كان  
 ذراع أب و ا اثنين فاذا اختلف التوازن حينئذ قليلا بهبوط  
أب مثلا (شكل ١٩) ورفع ا فان مستقيم ا يقرب  
 من الافق بخلاف ا فانه يبعد عنه اكثر من بعده وهو فى وضعه الاول  
 فاذن اذا مددنا مستقيمى س و غ و ص و ش الرأسيين من  
 مركبى غ و ش ثم مددنا ايضا خط غ اشره الافق كان اشره  
 بالضرورة اكبر من ا لكن يكون فى هذا الوضع  $س \times ا \times غ$  هو مقدار  
 $س \times ا$  هو مقدار  $ص \times ش$  فاذن يكبر مقدار  
ا الجين وبذلك يأخذ ذراع ا فى الهبوط حتى يصير وضع رافعة  
ا اقلها وحيث ان هذا الذراع هبط بدرجة معلومة بسبب ما اكتسبه  
 من التحرك عند وصوله الى الوضع الافق فان هذا التحرك يكون مستمرا ويكون  
ا نازلا تحت الافق بخلاف أب فانه يرتفع فوقه فيحصل بذلك  
 ارتجاج يصير مستمرا متى كان لا يحدث عن الاحتكاك او مقاومة الهواء ما يمنع

هذا الاستقرار الا أن تأثيرهاتين المقاومتين يوقف الموازين المضبوطة ضبطا تاما بعد عدة درجات طويلة المسافة او قصيرتها لكنهما تكون محدودة دائما  
وليكن  $\overline{O}$  (شكل ١٨ و ١٩) مركز ثقل قب الميزان فاذا كان التوازن مختلفا قليلا فان ثقل  $\overline{S} + \overline{ص}$  يأخذ في توصيل  $\overline{O}$  الى المستقيم الرأسى بواسطة قوة  $= (\overline{S} + \overline{ص})$  مضروبة في قوس  $\overline{MO}$  الذى يقطعه مركز  $\overline{O}$  من ابتداء مستقيم  $\overline{AM}$  الرأسى وهو قوس مناسب لبعده  $\overline{AO}$  بالنسبة الى زاوية واحدة

واذا اردت أن تعرف عند عمل الميزان هل مركز ثقل القب قريب او بعيد عن نقطة الارتكاز وهى  $\overline{A}$  لزم أن تعد في زمن معلوم درجات هذا القب فان كانت بطيئة جدا وصعبة الحصول كان المركز قريبا جدا من نقطة الارتكاز وان كانت سريعة جدا كان الامر بالعكس فيلزم تقريب المركز من نقطة الارتكاز بأن نرفع او نخفض مركز ثقل قب الميزان وذلك بحذف شئ من جزئه الاسفل او اضافة شئ اليه

وقب الميزان هو بندول مركب تعلم سرعة رجائه ومدتها بالحسابات المذكورة في الدرس السابق متى تعين مقدار انحراف الميزان ووضع مركزه وهو  $\overline{O}$

وتم طريقة سهلة يعرف بها صحة وضع قب الميزان وهى أن تأخذ لسان  $\overline{AM}$  المثبت في القب تثبيتا جيدا (شكل ١٦ و ١٧) وتجعله عمودا على رافعة  $\overline{BA}$  فتكون حالة  $\overline{AM}$  المسكة من نقطة  $\overline{M}$  عند رفع الميزان في وضع رأسى ومتى كان  $\overline{BA}$  اقريبا كان اللسان العمودى عليه رأسيا وحينئذ يكفي لجهة الميزان أن يكون اللسان غير مائل الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال عند خلوكفتى الميزان او عند وضع الصنج في احدهما والشئ المراد وزنه في الاخرى

هذا ومقتضى ما ذكرناه من التفصيل أن الآلات البسيطة لا يمكن أن تبلغ في الصناعة درجة كمال مالم تتعين القوانين الميكانيكية اللازمة لاجزائها المتنوعة لكي تكون تامة الضبط

والقبان كالميزان فهو رافعة من النوع الاقل تستعمل لايقاع التوازن بين  
ثقل ايا كان وقوة صغيرة تعرف بالرمانة

فتفرض رافعة مستقيمة كرافعة **ب آث** يكون ذراعها الصغير وهو  
**آث** مأخوذاً وحدة قياس وذراعها الكبير مقسوما الى عدد ما من الوحدة  
فبمسب وضع الرمانة المرموز اليها بحرف **ح** في نقط التقسيم وهي  
١ و ٢ و ٣ و ٤ الخ تكون هذه الرمانة موازنة للثقل المرموز اليه بحرف  
**ر** فيكون مساوياً للثقل مرة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ

فاذا قسمنا كل جزء من اجزاء الذراع المذكور وهو **آب** المقسوم سابقاً  
الى اجزاء مساوية للذراع الصغير وهو **آث** تقسيماً ثانوياً بأن تقسم كل جزء  
من تلك الاجزاء الى عشر فاجزاء متساوية مثلاً فان كالام من هذه الاجزاء الثانوية  
يدل في حاصل **آب** × **ح** على عشر حاصل **آث** × **ح** وذلك  
يستلزم لاجل حصول التوازن أن يزيد ثقل **ر** زيادة تساوي عشر **ح**  
وكل تقسيم ثانوي مساو لجزء من مائة من **آث** يدل ايضاً في حاصل **ح**  
 $\times \text{آب} = \text{آث} \times \text{ر}$  على جزء من مائة من **ح** × **آث**  
فعلى ذلك اذا قسمنا ذراع **آب** الى آحاد وعشرات ومئات ونحو ذلك  
قسمة مضبوطة امكن تعيين مرات احتواء ثقل **ر** مثلاً على ثقل كثقل **ح**  
وتعيين اعشار هذا الثقل المأخوذ وحدة وكذلك عشر هذا الثقل وواحد  
من مائته وهم جزءا

وما ذكرناه في درجات الميزان يمكن اجراء بعضه في القبان فيلزم أولاً أن تكون  
نقطتا الوقوع وهما **ب** و **ث** موجودتين على مستقيم واحد مع نقطة  
الارتكاز وهي **آ** وثانياً أن مركز ثقل القبان يكون اخفض قليلاً من  
نقطة **آ** ويكون على خط رأسي مع هذه النقطة اذا كان خط **آث** اقنيا  
فاذا اقتضى الحال الوقوف على ضبط الوزن بالقبان كان التعويل في ذلك على  
تكرير الوزن بمعنى انه بعد حصول التوازن بين الجسم والرمانة وتعيين النقطة  
التي حصل فيها التوازن نضع محله صنحاً بقدر الاطوال المعينة بالقبان

فان حصل التوازن كانت الآلة مضبوطة والا فلا وبالجمله فهما كان خلل الآلة المستعملة فان الصنج التي توضع محل الجسم المراد وزنه تقوم مقام رسته حين تتوازن مع الرماتة والفرق الحاصل بين ارطال الصنج والارطال المعينة بالقبان هو خلل تلك الآلة ولا ينبغي أن استعمل هذه الطريقة يسهل به في كثير من الصور ما صعب من العمليات الثابتة بالتجارب والبراهين ونحو ذلك من اليقينيات

ثم ان القبان من الروافع التي من النوع الاول حيث تتوازن فيه مقاومة ايا كانت مع قوة اصغر منها وليست هذه الروافع مقصورة على تحصيل التوازن بل تستعمل ايضا في تحصيل التحركات

وذلك كدفة السفن صغيرة كانت او كبيرة فهي مما نحن بصدده فلنفرض رافعة كرافعة **ث اب** (شكل ٢١) الثابتة من نقطة **ا** على مؤخر

السفينة يكون احد ذراعيها وهو **اب** منغمسا في الماء والثاني وهو **اث** ممسكا من نقطة **ث** بيد الرئيس او غيره او بالآلة ميكانيكية حيث ما اتفق

فاذا كانت السفينة سائرة وكانت دفة **ث اب** موجودة في اتجاه السير فانه لا يعرض لها مقاومة من الماء بخلاف ما اذا دفع الرئيس يد الدفة التي هي

**اث** الى النقطة **ث** مثلا فانه يعرض لجزء الدفة وهو **ار** مقاومة **س** التي تزداد بازدياد زاوية **ب ار** وتصل قوة **س** المائلة الى قوتين

احدهما قوة **سم** التي في جهة **ار** ولا تأثير لها الاشد الدفة من جهة طولها لتخلعها من رذاتها والثانية قوة **سم** العمودية على **اب** التي

تدفع الدفة الى جهة مضادة للسير ويجب ما سبق في الدرس الخامس يكون لقوة **س** تأثيره تدور السفينة ويكون مقداره مساويا **سم** × **ع غ**

بفرض أن **ع غ** هو بعدهم كزقل السفينة وهو **ع غ** عن اتجاه **سم** ولنجعل **ح** رمزا الى قوة الرئيس الواقعة على نقطة **ث** ونجعل **د**

رمزا الى مركز وقوع **سم** فيحدث لاجل توازن الدفة **ح** × **اث** = **سم** × **اد**



## \* (بيان الرافعة التي من النوع الثاني) \*

قد سبق أن المقاومة في الرافعة التي من هذا النوع تكون موجودة بين القوة ونقطة الارتكاز فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال التي تكون فيها القوة اصغر من المقاومة

ومن هذه الروافع المداري والمجاذيف المستعملة لسير السفن الى الامام فتكون القوة رافعة على نقطة  $\overline{ن}$  (شكل ٢١) التي هي مقبض المدرة المرموز اليها برمز  $\overline{ن و م}$  وشاذة للمقبض المذكور من مؤخر السفينة الى مقدمها وتكون نقطة الارتكاز وهي  $\overline{م}$  موجودة في الطرف الاخر من المدرة وتكون المقاومة حاصلة من السفينة في  $\overline{و}$  التي هي نقطة من نقط حافة السفينة اما بواسطة ثقب في هذه الحافة او سمما رأسي يعرف بالخرطوم ومن البديهي انه اذا عين مركز مقاومة جزء المدرة المنغمس في الماء كانت القوة مضروبة في بعد هذا المركز عن مقبض المدرة مساوية للمقاومة مضروبة في بعد المركز المذكور عن النقطة التي تكون فيها المدرة مستندة على حافة السفينة لان هذا المركز معتبر كنقطة الارتكاز

ويلزم تصيير الذراع الصغير بقل ما حتى تكون الرافعة متوازنة تقريبا على نقطة  $\overline{و}$  التي ثقلت هي اليها بواسطة السفينة وذلك لتلايزداد الشغل على الملاح بالانكساء على هذا الذراع لاجل موازنة الذراع الكبير

## \* (بيان الرافعة التي من النوع الثالث) \*

حيث ان القوة في هذه الرافعة موجودة بين نقطة الارتكاز والمقاومة فانها بالضرورة تكون اكبر من المقاومة فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال التي تكون فيها القوة اكبر من المقاومة

ومن هذه الروافع الريشة وفرشة الرسم وقلم الجدول فيلزم أن يكون سن الريشة وقلم الجدول سريع الحركة لصغر المقاومة التي تعرض له على الورق ومن هنا يعلم الوضع الملايم لامسال هذه الآلات

فتكون  $\bar{A}$  التي هي نقطة ارتكاز ريشة  $\bar{A}$  (شكل ٢٢) موجودة على العقدة الاولى من السبابة فتكون المقاومة حيثئذ في نقطة  $\bar{B}$  من الورق الذي تحصل فيه الكتابة التي هي تأثير الرافعة وتكون القوة مقسومة بين الابهام والسبابة والوسطى الى  $\bar{M}$  و  $\bar{D}$  و  $\bar{O}$  فاذا قلبت اليد (شكل ٢٣) لتنظر سن الريشة ابصرت  $\bar{M}$  و  $\bar{D}$  و  $\bar{O}$  التي هي نقط وقوع الاصابع المذكورة وكلما ازدادت قوة الاعصاب الواقعة على  $\bar{M}$  و  $\bar{D}$  او  $\bar{O}$  لتنقص في النقطتين الاخرين منها كانت الريشة مدفوعة الى جهات متنوعة فلا يرسم سائر انواع الحروف والصور

وفي عملية الكتابة شاهدين على التركيب الحقيقي للآلات البسيطة في الظاهر فانك ترى وقت الكتابة الاصبعين الاخيرين من اليد اليمنى مسندا للريشة والساعد الايمن والذراع الايسر مسندا للجسم بقامه وكل ذراع مع يده يتركب من اثنتين وعشرين رافعة من النوع الاول وكل ساق مع رجله يتركب من ثلاث وعشرين رافعة من ذلك النوع

ثم ان ارباب التاكيف الذين لا يرضون باستعمال الآلات المركبة في الفنون ويحرضون على تركها ويميلون الى الاصول الطبيعية يستعملون رافعة اصطناعية متحركة بثلاث قوى متحصلة من مجموع تسعين رافعة موجودة في النوع البشري من اصل الخلقة وهذه الرافع يدفعها او يجذبها بالتعاقب مائة وعشرون طائفة من الاوتار المعروفة بالاعصاب التي منها ماهو مربوط بنقطة الارتكاز من جهة الامام ومنها ماهو مربوط بها من جهة الخلف وحيث كانت كثرة الاوتار والروافع لا توجب اختلالا ولا تعطيل في العمليات التي يباشرها الانسان باعضائه سهل علينا ان نثبت ان هذا التركيب الجيب يلزمه النباهة والاستعداد لاجراء عدة عمليات دقيقة ليست في وسع غيره من سائر الحيوانات التي هي دونه في الاعصاب والروافع بالنظر لتركيبتها

وفي الثنون ماهو تظهر هذه الامور الطبيعية كالروافع والاوراقان اذ رعة  
الاشارات روافع متحركة بواسطة حبال كما أن اذ رعة الانسان تتحرك  
بواسطة الاعصاب

فاذا اقتضى الحال تحصيل التوازن بين قوة صغيرة ومقاومة كبيرة لزم  
بواسطة استعمال رافعة واحدة وضع نقطة الارتكاز قريبة جداً من نقطة  
وقوع المقاومة وربما نشأ عن ذلك في كثير من الاحوال موانع قوية تمنع  
من حصول المطلوب مع الصحة والضغط وقد يتدارك هذا الخلل باستعمال  
عدة روافع كالتي في شكل ٢٤ وحيث ان قوة  $\overline{ح}$  واقعة على طرف الذراع  
الاكبر من رافعة  $\overline{ب\alpha\theta}$  فان طرف الذراع الاكبر وهو  $\overline{ر}$  من  
رافعة ثانية كرافعة  $\overline{شده}$  يكون موضوعاً على نقطة  $\overline{ث}$  التي هي  
طرف الذراع الاصغر وهو  $\overline{ل}$  من الرافعة الاولى وقس على ذلك رافعة ثالثة  
كرافعة  $\overline{ه\Gamma\theta}$  وهكذا

ولتكن  $\overline{س}$  و  $\overline{س}$  و  $\overline{س}$  الخ هي المقاومات الحاصلة على  
 $\overline{ث}$  و  $\overline{ه}$  و  $\overline{ش}$  التي هي تقاطع الروافع المتوالية ولتكن  
 $\overline{ل}$  و  $\overline{ل}$  و  $\overline{ل}$  الخ هي الاذ رعة الكبرى من تلك الروافع و  $\overline{ل}$  و  $\overline{ل}$   
و  $\overline{ل}$  الخ هي اذ رعتها الصغرى فيحصل معنا شرط التوازن وهو في الرافعة

$$\overline{الاولى} \quad \overline{ح} \times \overline{ل} = \overline{س} \times \overline{ل}$$

$$\text{وفي الثانية} \quad \overline{س} \times \overline{ل} = \overline{س} \times \overline{ل}$$

$$\text{وفي الثالثة} \quad \overline{س} \times \overline{ل} = \overline{س} \times \overline{ل}$$

فاذا ضربنا أولاً الحدود الاول من هذه المعادلات في بعضها ثم الحدود  
الثواني كذلك وطرحنا من الحاصلين الكميات المشتركة وهي  $\overline{س}$  و  $\overline{س}$   
و  $\overline{س}$  الخ فبقي ان  $\overline{ر}$  هي القوة الاخيرة اي المقاومة يكون شرط

التوازن على وجه الاختصار هو

$$\overline{ح} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} = \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل}$$

اعني أن القوة مضروبة في الازدعة الكبرى من الرافعة تساوى المقاومة مضروبة في الازدعة الصغرى منها

ولنفرض مثلاً أن الذراع الاكبر من الروافع يساوى الذراع الاصغر عشر مرات فاذا اخذنا بالتوالي رافعة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ ظهر أن المقاومة مساوية للقوة مضروبة في ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ او ١٠٠٠٠ الخ وعلى ذلك فيكفى في حصول التوازن بين قوة ومقاومة اكبر منها عشرة الاف مرة اربع روافع تكون فيها نقطة الارتكاز اقرب الى المقاومة من القوة عشر مرات فقط

وفي انكثرة يستعملون عدة روافع كالمقدمة في (شكل ٢٤) في قياس قوة القين المتخذة من الحديد

ونستعمل ايضا الروافع المتقدمة استعماً لا بديعا في اثبات ما يكون للقضبان المعدنية من الامتداد عند تعرضها لحرارة وهذا الامتداد الدقيق جداً الذي لا يدركه النظر يلزم ضربه في عشرة آلاف مع الروافع الاربعة المذكورة اذا كان الذراع الاكبر من الرافعة الاخيرة عقرب مينا لانه يكون حينئذ سريع الحركة فيمكن اذن بواسطة تقسيم القوس الذى يقطعه هذا العقرب الحكم على ما يكون للقضيب المعدني من الامتداد وبهذه الكيفية يمكن أن نعين مع الضبط نسب امتداد الحديد والصلب والنحاس وهي نسب يستفيد منها الساعاتية وتعود عليهم بالمنفعة.

(راجع بندولات التعديل المتقدمة في الدرس السابع)

\*(الدرس التاسع)\*

\*(في بيان البكرات والملفات)\*

البكرة من حيث هي (شكل ١) تتركب من ثلاثة اجزاء احدها قرص مستدير

محيطه تلم ميزاني عميق من سائر جهاته لاجل ادخال الجبل وثانيها محور يدور عليه القرص وثالثها حالة الخماله أ ب ش د مثله في جسم يوجد به ثقب م ن الذي يدور فيه القرص وفيه ثقب آخر وهو ط مستدير عودي على م ن المذكور معه لدخول محور البكرة فيه

وفي البكرة الثابتة (شكل ٢) تكون الخماله ثابتة ومربوطة بنقطة ثابتة فرضا او تحقيقا كنقطة س وكذلك يلزم أن يكون المحور ثابتا والا فلا بد من أن يكون بعده عن نقطة س لا يتغير وأن تكون قوة ح مؤثرة في احد طرفي ح ا م ب خ ومقاومة خ ثابتة في الطرف الآخر منه فاذا اثرث القوة في المقاومة فانها تشد الجبل حتى يظهر منه جزءان مستقيمان ب ك ز ي أ ح و ب خ احدهما وهو أ ح واصل من البكرة الى القوة والاخر من البكرة الى المقاومة ويظهر منه ايضا جزء على صورة منحنى أ م ب يلتف على محيط حلق البكرة وهو اقصر خط يمكن رسمه بين نقطتي أ و ب على سطح هذا الحلق وقد سبق ايضا خواص هذا السطح في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول من هذا الكتاب

فاذا كانت قوتا ح و خ في مستور رأسي كان هذا المستوي ايضا مستويا لمنحنى أ م ب ولا يمكن أن تكون هاتان القوتان متوازيتين بالنسبة لنقطة س الثابتة الا في صورة ما اذا كانت النقطة موجودة في مستوى القوة والمقاومة الرأسية

وكما ان البكرة الثابتة تستعمل في رفع الدلاء من الآبار وكذلك فيما يستخرج من المعادن تستعمل ايضا في تحصيل القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز الموضوعه كلها في مستور رأسي واحد يتجه عليه طرف الجبل المرموز اليه برمز ب خ المربوطة به المقاومة التي هي كناية عن ثقل معلق بمحبل ب خ براد رفعه

وفي الصورة المستثناة اذا لم يكن  $\overline{أ ح}$  وهو اتجاه جزء الحبل مربوط فيه القوة رأسياً يكون ذلك الحبل على صورة منحن يعرف بالسلسلة كما تقدم وقد سبق ايضاح خواصها في الدرس السادس من هذا الجزء

وحيث ان الحبل فيما عدا هذه الصورة يكون ملفوفاً على حلق البكرة فلا بد أن تكون شروط توازن هذا الحبل هي عين الشروط المذكورة في الدرس الرابع المعقود لتوازن الحبل المثني على السطح والمشدود من طرفيه بالقوى فعلى ذلك يكون الشد الحاصل للحبل المذكور في جميع نقطه وهي  $\overline{أ} \overline{و} \overline{م} \overline{و} \overline{ب}$  التي على محيط البكرة باقياً على حالة واحدة فاذا كانت القوة حينئذ واقعة على نقطة  $\overline{أ}$  مباشرة والمقاومة واقعة على نقطة  $\overline{ب}$  مباشرة ايضاً لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين مهما كان اتجاههما \*

فاذا لم تكن القوتان المذكورتان واقعيتين مباشرة على هاتين النقطتين بل كانتا واقعيتين على بعد واحد من بعضهما وقطعنا النظر عن ثقل الحبل لزم أن تكونا متساويتين ايضاً بخلاف ما اذا لم تقطع النظر عنه بل اضفناه من جهة الى القوة ومن اخرى الى المقاومة فيلزم أن يكون المجموعان متساويين ليكون التوازن حاصلاً حول محور البكرة

وهذا مما لا بد منه في رفع الاجمال الى ارتفاعات عظيمة وكلما ازداد تأثير القوة هبطت مع الحبل الذي تشده ولاكتسبت من ثقله جزءاً مساوياً بالضبط للجزء المطروح من جهة المقاومة وبناء على ذلك اذا كبرت القوة فانها تحدث للمقاومة تحركاً الى اعلى يعظم شيئاً فشيئاً حتى يكون خطراً

ولاجل فحصيل فاضل واحد بين القوة والمقاومة نستعمل سلسلة تعديـل

كسلسلة  $\overline{خ ن و}$  المرتبطة بها حمل  $\overline{خ}$  المطلوب رفعه رأسياً ولنفرض أن هذه السلسلة والحبل المرتبطة به القوة والمقاومة متساويان في الطول الا أن السلسلة تكون ضعفه في الثقل فاذا شدت قوة  $\overline{ح}$  الحبل

حتى نقلته الى  $\overline{ح}$  فان جزء  $\overline{اب}$  يزاد بقدر  $\overline{ح ح}$  وجزء  $\overline{ب خ}$   
 ينقص بقدر  $\overline{خ خ}$  وذلك ناشئ عن عدم نقصان شئ من مقاومة  $\overline{خ}$   
 وعن اكتساب قوة  $\overline{ح}$  ضعف ثقل جزء  $\overline{حبل ح ح}$  وحيث ان مقاومة  
 $\overline{خ}$  المذكورة ارتفعت بقدر  $\overline{خ خ} = \overline{ح ح}$  فان جزء سلسلة التعديل  
 وهو  $\overline{ل ن}$  الموضوع على سطح افقى يرتفع ويصير رأسيا ويثقل من  
 جهة المقاومة لكن حيث كان  $\overline{ل ن}$  مساويا في الطول لكل من  
 $\overline{ح ح}$  و  $\overline{ب خ}$  كان ضعف كل منهما في الثقل فاذن تنكسب قوة  $\overline{ح}$   
 من جهة ضعف ثقل  $\overline{ح ح}$  وتنكسب مقاومة  $\overline{خ}$  من جهة اخرى  
 ضعف هذا الثقل وبناء على ذلك يكون دائما بين القوة والمقاومة فاضل واحد  
 وذلك نتيجة مهمة في كثير من الصور

فاذا كان  $\overline{حبا ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  (شكل ٢) متوازيين كانت محصلة  
 قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  المتساويين موازية لاتجاهي  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$   
 ومارة بمحور القرص واذا لم تكن قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  المذكورتان  
 (شكل ٤) متوازيين لزم أن تكون محصلتهما مارة دائما بمحور القرص  
 وهو  $\overline{ث}$  ونقطة التعليق وهي  $\overline{س}$  ولا يمنع ذلك من بقاء هاتين القوتين  
 على التساوي واذا مددنا اتجاهي  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  حتى تقاطعا في نقطة  
 $\overline{د}$  لزم أن تكون نقطتي  $\overline{س}$  و  $\overline{د}$  الثلاثة على مستقيم واحد  
 ويحدث من هذا المستقيم مع  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  اللذين هما اتجاهاه القوة  
 والمقاومة زاوية واحدة

واذا اريد معرفة الضغط الحاصل من قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  على  $\overline{ث}$  الذي هو محور القرص فاننا نعين محصلة  $\overline{دش}$  من متوازي الاضلاع وهو  $\overline{دهش ف}$  الذي يدل ضلعا على المتساويان وهما  $\overline{ده}$  و  $\overline{دف}$  على القوة والمقاومة وذلك أن وتر  $\overline{دش}$  هو محصلة القوتين المتجهتين على  $\overline{دس ث}$  اعني الضغط الحاصل على محور القرص

وبإضافة هذا الضغط الى ثقل البكرة ينشأ الجهد الكلي الواقع على نقطة الارتكاز وهي  $\overline{س}$

وحيث كانت القوة في البكرة الثابتة مساوية دائما للمقاومة كان لا يمكن استعمال هذه الآلة الا في تحويل قوة من اتجاه الى آخر بدون أن يتغير مقدارها ولذا كانت البكرات المستعملة في ذلك تسمى باسم بلائها وهو بكرات الرد لان الغرض منها ليس الارد القوة من اتجاه الى آخر

فاذا لم تكن قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  متساويتين فان مغزاهما تقدم من كبراهما جزأ بقدرها وينتزل حينئذ قرص البكرة في جهة كبراهما بفاضل القوتين غير أن الضغط الحاصل من القرص او المحور على الجملة يكون مساويا لمحصلة قوتين مفروض مساواة كل منهما للقوة الصغرى وعلى ذلك فيمكن أن يكون تحتل البكرة بطيئا جدا وان كان الضغط الحاصل على المحور عظيما جدا ويكفي لذلك أن تكون القوة والمقاومة كبيرتين جدا ~~ال~~ يمكن يكون بينهما اختلاف قليل وهذه هي قاعدة الآلة التي اخترعها المهندس افودو لينبت بالتجربة قوانين سقوط الاجسام التي تقدم ذكرها في الدرس الثاني من هذا الجزء

ولتد نصف قطر  $\overline{ثا}$  و  $\overline{ثب}$  (شكل ٤) عمودين على اتجاها  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  فيكون مستقيم  $\overline{اب}$  عمودا على  $\overline{ثش د}$



الذي يقسم زاوية ا ث ب الى جزئين متساويين فاذن تكون اضلاع  
مثلثي د ه ش و ا ث ب متقابلة وعمودية على بعضها ومن ذلك  
يحدث هذا التناسب وهو

ح = خ : ر :: ده = دف : دش :: ا ث = ث ب : ا ب  
وبناء على ذلك تكون في البكرة الثابتة نسبة القوة المساوية للمقاومة الى  
ضغط ر الحاصل على نقطة الارتكاز كنسبة نصف قطر القرص الى وتر  
ا ب الحاصر لقرص ا ب المحاط بمجزم من الحبل الملقوف على القرص

\*(بيان البكر المتحرك)\*

اذا بدلنا في البكر الثابت (شكل ٢ و ٤) النقطة الثابتة بقوة ر  
المساوية للجهد الحادث على هذه النقطة من تأثير ح و خ كان التوازن  
باقيا على حاله بين القوي الثلاثة وهي ح و خ و ر وانما يتغير البكر  
الثابت بالبكر المتحرك (شكل ٣ و ٥) فيحدث اذن في البكر المتحرك  
من قوتي ح و خ الواقعتين على طرفي الحبل المار بالقرص ومن قوة  
ر الواقعة على المحالة هذان التناسبان وهما

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ده}} = \underline{\underline{دف}} : \underline{\underline{دش}}$$

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ثا}} = \underline{\underline{ثب}} : \underline{\underline{اب}}$$

وتبدل في العادة احدي قوتي ح = خ بنقطة ثابتة كنقطة خ فتكنفي  
حينئذ قوة ح في موازنة مقاومة ر وقد يعبر عن التناسب الاخير بهذه العبارة  
فيقال

ان نسبة القوة الى المقاومة في البكر المتحرك كنسبة نصف قطر القرص الى

الوزن الحاصر لقوس  $\overline{AB}$  المحاط بجزء من الحبل الملقوف على القرص  
ولهذه النسبة فائدة وهي أنه بموجبها يستغنى عن تركيب متوازي  
الاضلاع للقوى لأنها تتعلق بأصول هندسية مستعملة كثيرا ومعلومه  
الحساب في جداول مطبوعة تعرف باسم الجداول اللوغاريتمية والجيبية

ومنى كانت قوتا  $\overline{H}$  و  $\overline{X}$  متجهتين بالتوازي (شكل ٣) لازم  
أن تكون مقاومة  $\overline{R}$  متجهة مثلهاما وزيادة على ذلك تكون مساوية  
لجمعهما وهو  $\overline{H} + \overline{X}$  وهذا هو اعظم تأثير يمكن حصوله من هاتين  
القوتين بواسطة البكرة المتحركة لاجل شد الجمالة

وكما كانت الزاوية الحادثة من اتجاهي  $\overline{AH}$  و  $\overline{BX}$  (شكل ٥)  
منفرجة نقص وزن  $\overline{DHS}$  ولزم أن تكون مقاومة  $\overline{R}$  صغيرة اذا كانت  
قوة  $\overline{H} = \overline{X}$  محدودة ولزم ايضا أن تكون قوة  $\overline{H}$  كبيرة اذا كانت  
 $\overline{R}$  محدودة

وقد سبق أنه يلزم عوضا عن استعمال قوتي  $\overline{H}$  و  $\overline{X}$  للتوازن  
مع قوة ثالثة كقوة  $\overline{R}$  (شكل ٣ و ٥) أن تربط غالبا احد حبلي  
 $\overline{AH}$  او  $\overline{BX}$  في نقطة ثابتة تكون متحملة للجهد الذي تحمله قوة  $\overline{X}$   
التي يمكن توفيرها

مثلا في صورة ما اذا كان الحبلان متوازيين (شكل ٣) تكون قوتا  
 $\overline{H}$  و  $\overline{X}$  متساويتين فيكون في حصول التوازن بين قوة  $\overline{R} = \overline{H}$   
 $+ \overline{X} = 2\overline{H}$  أن نستعمل قوة  $\overline{H}$  وحدها فيتوفر حيثئذ  
النصف من استعمال القوة في تحصيل التوازن وهذا كما رأيت في تحصيل

التوازن دون تحصيل التحرك لان تحصيل التحرك لا وفريه

ولنفرض حيثئذ في زمن معلوم أن قطعة  $\overline{خ}$  تكون باقية على ثباتها  
وأن نقطة  $\overline{ح}$  تسير بقدر كمية  $\overline{ح ع}$  فينتقل قرص البكرة من  $\overline{أم ب}$

الى  $\overline{ام -}$  ولا يتغير طول الحبل ويلزم أن يكون  $\overline{خ ب م ا ح}$

$= \overline{خ - م ا ح}$  فإذا طرحنا من الحبلين طولى  $\overline{أم ب}$  و  $\overline{ام -}$   
المتساويين وطولى  $\overline{خ -}$  و  $\overline{ح ا}$  المشتركين بقى هذا التساوى وهو  
 $\overline{ح ع} = \overline{ا ا} + \overline{ب -} = \overline{٢ ش}$

ولكن  $\overline{ش}$  يساوى الكمية التى تتقدم بها  $\overline{ر}$  الى  $\overline{ث}$  فإذا لم تكن  
قوة  $\overline{ح}$  الا نصف  $\overline{ر}$  لزم أنها تقطع ضعف المسافة التى تقطعها  $\overline{ر}$   
وحيثئذ اذا ضربنا كلنا هاتين القوتين فى المسافة التى قطعتها فى زمن معلوم  
كان الحاصل واحدا وهو

$$\overline{ح} \times \overline{ح ع} = \overline{ر} \times \overline{ر ر}$$

ثم ان مساقتى  $\overline{ح ع}$  و  $\overline{ر ر}$  الصغيرتين يدلان على سرعتين المنهتين  
لقوى  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  وما ذكرناه من التساوى يتضمن قاعدة تتعلق بالسرعة  
المنبهة وهى جارية فى سائر الآلات بسيطة كانت او مركبة وفى جميع ذلك  
ترى أنه اذا امكن بواسطة نقط الارتكاز حصول التوازن بين القوى الكبيرة  
والقوى الصغيرة عند وجود التحرك فان التعديل الحاصل بين القوى  
والمسافات المقطوعة يكون على وجه بحيث لا تزداد به كميات التحرك اصلا  
وفى الغالب تحتل البكرة الثابتة بالبكرة المتحركة كما نراه فى شكل ٦

وبهذه الكيفية تعلق المصابيح المعدة للتنوير

وحبل  $\overline{ح ا س ح ا ب خ}$  يمر حول بكرة  $\overline{ا ر ث}$  الثابتة ثم يمر حول

بكرة  $\overline{أ ب ث}$  المتحركة التي يعلق بها ثقل  $\overline{ر}$  ثم يربط في نقطة  $\overline{خ}$  الثابتة

وليكن  $\overline{ح}$  هو الشد أو الجهد الحاصل للربل المشدود بقوة  $\overline{ح}$  فلاجل أن يكون توازن البكر الثابت باقيا على حالة واحدة يلزم أن يكون  $\overline{ح} = \overline{ح}$  ثم لاجل بقاء توازن البكرة المتحركة على حالة واحدة يلزم عند مدونه  $\overline{أ ب}$  في القرص من نقطتي  $\overline{أ}$  و  $\overline{ب}$  اللتين يقطع فيهما مس الحبل لهذا القرص تحصيل هذا التناسب وهو

$$\overline{ح} = \overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{أ ث} : \overline{أ ب}$$

وهو شرط بسيط

فإذا فرضنا (شكل ٧) أن هناك عدة بكرات متحركة مختلطة ببعضها

كان أولا حبل البكرة الاولى وهو  $\overline{أ ب ح ث}$  مربوط في نقطة  $\overline{خ}$  الثابتة وفي نقطة  $\overline{ث}$  التي هي مركز البكرة الثانية وثانيا يكون حبل البكرة

الثانية وهو  $\overline{أ ب ح ث}$  مربوط في نقطة  $\overline{خ}$  الثابتة وفي نقطة  $\overline{ث}$  التي هي مركز البكرة الثالثة وهلم جرا

فإذا كانت  $\overline{ح}$  و  $\overline{ح}$  و  $\overline{ح}$  الخ هي الشدود الحاصلة بين حبال  $\overline{ب ح}$  و  $\overline{ب ح}$  و  $\overline{ب ح}$  الخ حدثت هذه المعادلات وهي

$$\frac{\overline{أ ب}}{\overline{أ ث}} = \frac{\overline{ر}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\overline{أ ب}}{\overline{أ ث}} = \frac{\overline{ح}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} = \frac{\text{ح}}{\text{خ}}$$

فأذن يكون

$$\frac{\text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب}}{\text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث}} = \frac{\text{ح} \times \text{ح} \times \text{ح} \times \text{ح} \times \text{ح}}{\text{خ} \times \text{خ} \times \text{خ} \times \text{خ} \times \text{خ}}$$

ولنبه على أنه إذا قسمنا  $\overline{\text{ر}}$  على  $\overline{\text{ح}}$  ثم ضربنا خارج القسمة في  $\overline{\text{ح}}$  نحصل معنا عدد  $\overline{\text{ر}}$  وإذا قسمنا هذا العدد على  $\overline{\text{ح}}$  و  $\overline{\text{ح}}$  ثم ضربناه في  $\overline{\text{ح}}$  و  $\overline{\text{ح}}$  نحصل معنا هذا العدد بعينه فأذن لا يبقى معنا إلا كون مقاومة  $\overline{\text{ر}}$  المقسومة على القوة الأخيرة وهي  $\overline{\text{ح}}$  تساوى حاصل ضرب سائر النسب في بعضها وهي

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}}$$

وهذه الحسابات كما ترى مختصرة جدا فإذا كان وضع البكرات معلوما كانت

$$\text{نسب } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ الخ معلومة أيضا ويمكن حينئذ أن نعين}$$

القوة التي لا بد منها في موازنة مقاومة معلومة والمقاومة التي لا بد منها في موازنة قوة معينة

ومعنى كانت سائر القوى متوازية (شكل ٨) كانت جنال  $\overline{\text{أب}}$

$$\text{و } \overline{\text{أب}} \text{ و } \overline{\text{أب}} \text{ الخ اقطارا لاقراص } \overline{\text{أبث}} \text{ و } \overline{\text{أبث}}$$

و أثبت الخ فعلى ذلك تكون هذه الجبال ضعف انصاف اقطار

ا هـ و ا هـ و ا هـ فاذا تكون  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$  الخ

بمعنى ان عامل ٢ يتكرر بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة  
فاذا بحثنا في حالة الحركة عن نسبة المسافات التي قطعها القوة والمقاومة  
وجدنا المسافة التي قطعها مقاومة ر نصف المسافة التي قطعها  
قوة ح وهي على النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهي ايضا على  
النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهكذا وحينئذ تكون نسبة مسافي  
هـ و هـ التي قطعها قوة ح م ومقاومة ر هي.

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

وهذه الانصاف تتكرر بقدر ما يوجد من العوامل التي هي

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

وهذه هي النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة ثم اذا ضربنا هذين المقدارين  
في بعضهما حدث

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$$

المتحركة

$$1 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

وذلك يقتضى أن مقاومة ر مضروبة في مسافة هـ التي قطعها في زمن ما

تساوى قوة  $\overline{ح ٢}$  مضروبة في مسافة  $\overline{هـ}$  التي يلزم أن تقطعها في الزمن المذكور عند عروض الاختلال للتوازن على حين غفلة لأجل تحرك الآلة (وهذا من شواهد قاعدة السرعة المنبهة) ويستعمل غالباً في القنون البكرات التي لها أحبال متوازية تقريباً وهي عدة أقراص ثابتة مثل ١ و ٢ و ٣ الخ (شكل ٩) و (شكل ١٠) موضوعة على جمالة ثابتة وعدة أقراص متحركة مثل ١ و ٢ و ٣ موضوعة على جمالة متحركة ومثل هذه الجمالات يعرف بالعيار أو بالانك

وحيث أن الحبل يمر بالتوالي على ١ و ١ و ٢ و ٢ و ٣ و ٣ و ٤ و ٤ فإذا كانت جبال  $\overline{ر ب}$  و  $\overline{ا ا}$  و  $\overline{ر ب}$  و  $\overline{ا ا}$  و  $\overline{ر ب}$  الخ متوازية كان الشد الحادث لكل منها مساوياً للمقاومة مقسومة على عدد الحبال المذكورة وينبغي أن لا نعد آخر اثنتان من جبل  $\overline{ا ح}$  لانه لما كان تأثيره مقصوراً على البكرات الثابت كان لا يغير التوازن في شئ فإذن يمكن إبدال  $\overline{ا ح}$  بمساوئها وهي  $\overline{ح}$  المتجهة على امتداد  $\overline{ب ر}$  وحينئذ يختفي جبل  $\overline{ا ح}$

وبناء على ذلك ينبغي أن لا نعد من الحبال إلا ما كان مبدؤه البكرات المتحركة مباشرة بمعنى أننا نعد لكل بكرة متحركة حبلين إذا كان مبدؤه الحبل الجمالة الثابتة (شكل ٩) وحبل واحد إذا كان مبدؤه الجمالة المتحركة (شكل ١٠) وهذه الحبال على العموم متوازية تقريباً وربما اعتبرت في العمل متوازية بدون خطأ بين فإذا كان هناك عدد غير محدود من البكرات المتحركة كعدد  $\infty$  فإنه يتحصل من الحبال ٢٢ في الصورة الأولى و ٢٢ + ١ في الصورة الثانية وهذه الحبال تكون بالسوية حاملة

للجهد الحادث من محصلة  $\overline{R}$  وكل منها يتحمل  $\frac{R}{2}$  وهو جزء من الجهد

او  $\frac{R}{1+2}$  وهو جزء منه ايضا لكن  $\overline{C} = \overline{H}$  هو شد  $\overline{B}$

فاذن تكون قوة  $\overline{C}$  مساوية لمقاومة  $\overline{R}$  مقسومة على ضعف عدد البكرات المتحركة (شكل ٩) وعلى ضعف هذا العدد زائدا واحدا (شكل ١٠)

وفي هذه الصورة كالتى قبلها تسهل البرهنة على أنه اذا تحركت الآلة قليلا كانت نسبة المسافتين اللتين قطعتهما القوة والمقاومة في زمن واحد كعكس نسبة هذه الاعداد

وذلك لانه متى هبط  $\overline{B}$  بكمية ما لزم أن تكون ابعاد  $\overline{B}$  و  $\overline{B'}$  و  $\overline{B''}$  الخ و  $\overline{A}$  و  $\overline{A'}$  الخ متزايدة على حسب اطوال الهبوط فاذن يكون الطول الكلى للعبال من ١ الى  $\overline{A}$  متزايدا بقدر عدد الجبال ويلزم حيثئذ أن يكون جبل  $\overline{A}$  المعلوم هو الذى احدث هذا الطول فتقطع  $\overline{C}$  مسافة ذلك الطول فعلى ذلك اذا كان  $\overline{A}$  (شكل ٩) هو عدد الجبال فان نسبة مسافة  $\overline{R}$  الى التى قطعها  $\overline{R}$  الى مسافة  $\overline{C}$  الى التى قطعها  $\overline{C} :: ١ : ٢$ .

لكن  $\overline{R} : \overline{C} :: ٢ : ١$  فاذن تكون قوة  $\overline{R}$  مضروبة في المسافة التى قطعها  $\overline{R}$  تساوى قوة  $\overline{C}$  مضروبة في المسافة التى قطعها  $\overline{C}$  ويبرهن ايضا على هذه القاعدة بشكل ١٠

وتم نوعان من البكرات المركبة المعروفة عند العامة بالعبارات احدهما (شكل ٩ و ١٠) مركب من عدة اقراص بكرات موضوعة على محاور منفردة مارة بجمالة واحدة وثانيهما مركب (شكل ١١ و ١٢) من عدة اقراص بكرات موضوعة على محور واحد مارة بجمالة واحدة وهذه



الاقراص متفرقة عن بعضها بقواصل ثابتة معتبرة كالجزم من الجمالة  
ولكل من النوعين المذكورين منافع ومضار في النوع الاول تكون  
اقراص كل عيار في مستوا واحد مع الحبل الذي يمر بالتوالي من عيار  
الى آخر

وفي النوع الثاني يتغير مستوى هذا الحبل لاجل مروره من عيار الى آخر  
بحيث ان جميع اجزائه الموجودة في احدى جهتي العيارين وان كانت متوازية  
لا تكون موازية لجميع اجزائه الموجودة في الجهة الاخرى ولهذا الخلل  
الناتج عن التوازي مضرة هي ميل الاقراص بالنسبة لمحاورها وذلك  
يؤدي الى تغير عينيها وربما تغيرت المحاور ايضا بسبب زيادة الاحتكاك  
ولا يكون هذا الضرر يئنا متى كان العياران على بعد عظيم من بعضهم  
بالنسبة لتباعد الاقراص عن بعضها على محور واحد بخلاف ما اذا قربا من  
بعضهما فان الخلل الناتج عن التوازي يزداد ويحدث عنه مقارومات غير  
لائقة

وفي هذه الصورة تكون منفعة الاقراص الموضوعة على محور واحد دون  
منفعة الاقراص الموضوعة في حالة واحدة على محاور مختلفة

ولكن الاقراص في الصورة الثانية تشغل من المحال اكثر مما تشغله في الصورة  
الاولى فاذا كان المطلوب مثلا رفع اجمال لزم لذلك آلة تكون في نقطة تعليق  
العيارين مرتفعة عن المحل الذي يرتفع منه الحبل وهذا الار تفاع يكون  
بالاقل قدر الطول الكلي للعيارين وربما عظم هذا الطول اذا كانت  
كلتا الجمالتين محتوية على ثلاثة اقراص او اربعة وقد يعظم هذا الضرر  
لا سيما اذا وصلنا الى اعلى طبقات المنزل وكان المطلوب رفع الاجار اليها \* وعلى  
الميكانيكي أن يختار من النوعين ما تقتضيه الاحوال

فاذا كان الغرض من العيارات التوصل بها الى ظهور مقاومة كبيرة على  
قوة صغيرة وغلبتها لها لزم أن يكون لها حبال كبيرة فبذلك تقطع القوة  
مسافة كبيرة حتى تقطع المقاومة مسافة صغيرة وهذا هو التعديل العام الذي  
هو كناية عن قاعدة نستنبط من تحريك سائر الآلات

## \* (بيان التناقل في البكرات) \*

إذا اعتبرنا البكرات اجساما ثقيلة وارىد تفصيل مقدار الجهد الواقع على نقطة

خ الثابتة (شكل ٥) المتعلق بها البكرة المفروض تحركها في الفراغ

بلا معارض فانه يلزم اخذ المحصلة العمومية لقوة ح ومقاومة ر

وتقل جبل ح اب خ والبكرة بتمامها فاذا كانت م هي ثقل البكرة

بتمامها و ه ثقل الحبل حدث اربع قوى وهي م و ه و ح و خ

تكون محصلتها مساوية ومضادة لمقاومة ر لاجل حصول التوازن

ثم اذا لاحظنا ما يترحول ث الذي هو محور البكرة وجدنا هذا المحور

يتحمل أولا جهد ح و خ وثانيا ثقل قرص البكرة وثالثا ثقل

حبل ح ا و ب خ في صورة ما اذا كانت القوة تؤثر من اعلى الى اسفل

كما في شكل ٤ وحيث ان اذا كان م هو ثقل القرص الذي يكون مركزه

في ث لنم أن يكون لقوى م و ه و ح و خ محصلة كلية

مارة بمحور ث ومساوية للضغط الحاصل من القرص على المحور

ومما يسهل مشاهدته أن ثقل القرص لا يغير شيئا من نسب ح و خ

بالنظر للتوازن لكن كلما كان هذا الثقل عظيما كان متعبا للمحور ونشأ عنه

احتمكا كان فيلزم أن يكون ثقل القرص صغيرا مهما امكن متى كان الغرض

أن البكرة تؤثر تأثيرا عظيما ما امكن

واما الحبل (شكل ٤) فانه في صورة ما اذا كان ثقله محمولا على المحور يكون

حل هذا المحور قليلا بقدر ما يكون ذلك الحبل خفيفا

وما ذكرناه في هذا الشأن له اهمية عظيمة في استعمال الحبال والبكرات

في جوانب السفن واذا قطعنا النظر عما يتحصل من الوفرة العظيم في كمية

ما يستعمل من المواد في اقراص البكرات والحبال المارة بها يلزم لقلبة

المقاومة والظهور عليها بقوة اصغر منها أن تكون الجبال والاقراص خفيفة جدا

واذا كان المطلوب عمل اقراص معدنية خفيفة جدا لزم مزيد الاهتمام في تجويفها من بين الخلق والمحور بواسطة تصاليب متفرقة كتصاليب عجلات العربات او فواصل رقيقة تجمع بين الخلق ومركز الدولاب كما في شكل ١٣

فاذا تحركت البكرة (شكل ٥) كان الجزء الاول من القوة وهو ح موازنا لساير المقاومات والجزء الثاني منها وهو ح محرر كاللعبل والقرص ومقاومة ر بكمية يدل تأثيرها على جميع ما لم تعدمه مقاومات الآلة

ولكن هذه الكمية تقاس أولا بالمسافة التي قطعها ح وثانيا بمجموع حواصل ضرب ثقل الجبل في المسافة التي قطعها هذا الجبل في جهة طوله وثالثا بمجموع حواصل ضرب ثقل كل جزء من القرص في المسافة التي قطعها هذا الجزء فينبغي ان يوزن تعيين هذا الجزء الثالث

واذا قسمنا القرص الى مناطق متساوية العرض وجدنا ثقلها مناسبا بالضبط لانصاف اقطارها فاذا قطعنا قرصين متحدى السمك ومختلفي القطر كان حجم كل منهما مناسبا لمربع قطريهما واذا قسمنا هاتين الدائرتين (اعني القرصين) الى اجزاء صغيرة هجومها على نسبة واحدة وفي اوضاع متشابهة كان مربع بعد المحور عن الاجزاء المتقابلة الموجودة في القرصين مناسبا لمربع نصفي قطريهما فاذا ن يصير حاصل ضرب حجم كل جزء في بعده عن المحور مناسبا لمربع القطر مضروبا في القطر نفسه اعني انه يكون مناسبا لمكعب قطر هذين القرصين وعلى ذلك فتكون كمية التحرك الحادثة في كل من القرصين مناسبة لمكعب قطره وهذا بالنظر الى سرعتهما المنزوية فاذا زادت تلك النسبة كثيرا مع قطر القرصين لزم جعل الاقراص في البكرات الكبيرة صغيرة الحجم ما امكن وهذه الفائدة يمكن تحصيلها من استعمال الجبال التي ليس لها بالنظر الى قوة مفروضة الاقطر صغير قليلا لمزيد جودتها وبالجملة فيمكن أن يكون عرض

القرص اقل من قطر الجبال لثلاثي تلك الجبال من احتكاكها بجوانب الثقب الذي هو محل القرص في صندوق البكرة

فاذا استعملنا من الجبال مالا مقاومة له اصلا عند الانقنا على حلق البكرة فكلما كان قطر القرص صغيرا قل من توجد قوة معدومة لاجل الظهور على ان يرسى هذا القرص عند تحريك القوة للمقاومة غير ان شدة الجبال مقاومة عظيمة يلزم الاهتمام بتقويهما ومعرفة مقدارها

وسياق أن كلب الذي هو من مشاهير علماء الطبيعة عين المقاومة التي تعرض لتحرك البكرات من شدة الجبال

ثم ان شوحية ١١ (شكل ١٤) تحمل اولا سطح  $\overline{ح ح}$  الكبير بواسطة جبل الاختبار وهو  $\overline{ش ث}$  الذي يدور مرّة من جهتي اليمين والشمال على ملف  $\overline{ب ب}$  المتحرك وتعمل ثانيا سطح  $\overline{خ خ}$  الصغير بواسطة جبل  $\overline{ش ث}$  الصغير الذي يدور مرتين او ثلاثا على ملف  $\overline{ب ب}$  في جهة مقابلة لجهة  $\overline{ش ث}$  وينبغي الاهتمام بمنع الجبال عن مماسة بعضها ليحصل التأثير على وجه سهل

وقد يميل ملف  $\overline{ب ب}$  الى الهبوط بسبب التأثير الناشئ اولا عن ثقله الاصلى مع ذراع رافعة يساوى نصف قطر ذلك الملف وثانيا عن ثقل سطح  $\overline{خ خ}$  مع ذراع رافعة يساوى قطر الملف المذكور فيكون حينئذ اضافة نصف ثقل الملف الى ثقل حمل  $\overline{خ خ}$  لاجل تحصيل قوة واحدة تؤثر بواسطة ذراع رافعة يساوى قطر الملف فاذا كان ثقل الملف كبيرا نقص تأثيره بثقل  $\overline{ح ح}$  المربوط في طرف جبل  $\overline{ش ث}$  المار ببكرة الردوهي  $\overline{ر ر}$  وكل وحدة من ثقل  $\overline{ح ح}$  توازن وحدتين من ثقل الملف

وقبل اختبار جبل  $\overline{ش ث}$  المراد قياس شدة يرتقي حتى يكون تقريبا كالجبال المستعملة عادة في الآلات ونمّر بجبل  $\overline{ش ث}$  من فوق حلق البكرة ونربط في احد طرفيه ثقلا كافيا ثم يشدّ اناس طرفه الاخر فيرفعون

هذا النقل او يخففونه فبذلك يزول ما يوجد من الخلل في شد الحبال الجديدة التي تمنع من حصول التناجج المطلوبة  
 فاذا احتسنا بهذه الاحتراسات في منع الخلل عرفنا ثقل خ الذي لا بد منه لهبوط ملف ب ولظفر بمقاومة حبل ث ورأينا أنه بواسطة شدود عظيمة تكون تقريرا القوة اللازمة لثني الحبال على الاسطوانات المختلفة القطر أولا على نسبة مطردة بالنظر لشدود الحبال ومنعكسة بالنظر لقطر الملفات وثانيا تكون على نسبة مطردة بالنظر لربع قطر الحبال وهذه النسبة تقرب من الصحة بقدر غلط الحبال

(والمقاومة الحادثة عن شد الحبال مركبة من جزئين احدهما ثابت والاخر اخذ في الزيادة بالنسبة للعمل ولا يمكن أن تكون الكمية الثابتة منسوبة الا الى الدرجات المختلفة التي تكون لشد الحبال والتوائها العارض لها عند عملها ويكون كل من فروع الحبل مشدودا بقوة على حدته ومحافظا على درجة شدة عند التواء هذا الحبل لان تلك الفروع المتلاصقة والمتعشقة ببعضها متماسكة بالاحتكاك وعلى ذلك فكل فرع من حبل مربوط به ثقل يكون مشدودا بنسبة تلايم ما يخصه من الثقل وما يعرض له من الالتواء عند ثني الحبل لكن اذا كانت القوى اللازمة لثني الحبل مناسبة للشدود كانت تلك القوى مناسبة لكمية ثابتة زيادة على الثقل المربوط بالحبل وهذه الكمية الثابتة تتغير مع درجة الشد والتواء العارضين للحبال عند عملها واما الحبال الجديدة المقتولة ثلاث مرات فتكون فيها تلك الكمية تابعة مع الضبط الكافي لنفسية مربعات اقطار الحبال فاذا استعملت الحبال زمنا طويلا ارتخت فروعها وتناقصت فيها الكمية الثابتة الناشئة عن شدها الاصلي م)

واذا قابلنا مقاومات القن بمقاومات الحبال الصغيرة وجدناها اقل مما تدل عليه نسبة المربعات وذلك أن قطر البت المركزي يتزايد في الحبال الغليظة بدون أن تزيد المقاومة بنسبة واحدة عند الانثناء وحيث أنه في القن الغليظة أن تكون جميع الفروع مشدودة مع التساوي كالحبال الرفيعة لان الحبال

المشدودة كثيرا هي التي تقاوم كثيرا بخلاف غيرها من الحبال فانها تلين بمجرد  
ليها من غير جهد

ويلزم تعيين التأثير الذي يعرض لشدة الحبال حين رطوبتها وشم اشغال كثيرة  
لا سيما ما كان منها متوقفا على شدة الهواء كسير السفن والامطار وامواج البحر  
وغير ذلك تبطل فيها الحبال وتتغير طبيعتها بحيث تكون على حالة تبين  
بالكلية حالتها وهي جافة

ويرى بمجرد النظر أن شدة الحبال لا سيما اذا كانت غليظة يزيد زيادة بينة  
مقارنة كانت مبلولة بالماء وترى في شكل ١٤ صورة الآلة التي تدل على أن  
هذه الزيادة تقاس بكمية ثابتة مهما كان الحمل الذي تحمله الحبال

وقد علمت تجارب كلب الاولى في الحبال البيضاء وعمل غير الاولية منها  
في الحبال المقطرنة ( اى المدهونة بالقطران ) فوجد أنه يلزم في هذين النوعين  
مهما كان الشدة اضافة كمية ثابتة الى المجهودات التي لابد منها في شئ الحبل  
المفروض انه ابيض جاف وليس بينهما كبير فرق كما قد ينوهم وذلك لان شدة  
الحبال المقطرنة لا يفوق على شدة الحبال البيضاء الا بمقدار  $\frac{1}{4}$

ومثل هذا الفرق مهم جدا الشهرة في العمليات وقد تستعمل الحبال البيضاء  
اذا اقتضى الحال استعمالها في البكرات والطناير ولو كانت بذلك عرضة  
لشدة الهواء فيختلجها ما ينشأ عنها في القوى المحركة من توفير اجرة الشغالين  
باعدل ما يصرف فيها حين تبلى سريرا

وقد دلت التجربة على أن الحبل القديم المقطرن يكون شدة كشد الحبل الجديد  
المقطرن تقريبا نم وان كانت خيوط القنب يقل اشتدادها عند البلا إلا أن  
نعرضها للهواء والمطر يجمد القطران فيعادل تأثيرها تأثير الجديدة

وقد ذكر كلب قواعد حسابية سهلة تتعلق بتطبيق ما استنبطه من النتائج  
على تقويم المقاومة وتقديرها عند انشاء الحبال المتنوعة على الاسطوانات  
او البكرات المعلومة الاقطار لكون شدودها معلومة ايضا واذا اردت الوقوف  
على هذا التطبيق فعليك بكتاب هذا العالم الشهير

وقد علمت تجارب الجبال المقطونة في فصل الشتاء حين كان ترمومتر يوم يوم  
مرتفعاً عن الانجماد بخمس درجات اوستة فظهر أن الجليد يزيد في شدة هذه  
الجبال لاسيما اذا كانت عظيمة القطر وقد علمت ايضا تجربة الجبل المقطون  
المؤلف من ١٥ فرما حين كان الترمومتر منخفضاً عن الانجماد باربعة  
درجات فوجد أنه يستلزم قوة اكبر (بسدس تقريبا) مما اذا كان الترمومتر  
مرتفعاً عن الانجماد بست درجات الا أن هذه الزيادة ليست تابعة لنسبة  
الاجمال لان الجزء الثابت من المقاومة في هذه الصورة هو الذي يزيد زيادة  
بينه

وهاهنا تنبيه يتعلق بسائر التجارب السابقة وهو انه متى كانت الجبال مثقلة  
بالتقال ورفع متف ب ب ( شكل ١٤ ) بأن ادير بقوة الذراع ثم خلى  
ونفسه فسقط في الحال قل شدة الجبل بحيث يكون على الثلث مما في تلك  
التجارب وهذا عام في سائر الجبال سواء كانت بيضاء او مقطونة قديمة او جديدة  
غير أنه في الغليظة والجديدة يكون اظهر مما في البالية والرفيعة وكذلك يكون  
اظهر في الملفات الصغيرة من الكبيرة لكن اذا تركنا تلك الجبال ساكنة مدة من  
الزمن ورفعنا الملف من غير أن نخفضه وجدنا شدة الجبل يزيد زيادة بينه لكن  
لا يصل الى الحد الذي حده كلب في تجاربه الا بعد أن يسكن ٥ دقائق  
او ٦ وعليه في التحرك المتعدد الذي تكون فيه القوى معدة لرفع الثقل  
ونخفضه كما في تأثير آلات الدق المعدة لرفع الكبس او الشامردان المستعمل  
لدق الخوايز في الارض يكون شدة الجبل اقل مما في التجارب المتقدمة  
ومن هذا القبيل الجبل الذي يترك مرتين متجاورتين \* ولكيلا يكون التحرك  
سريعا يلزم أن تكون القوة المستعملة في النظر بشدة الجبل عند التواءه على  
البكرة الثانية دون القوة المستعملة في ثنيه على البكرة الاولى وان كانت درجتهمما  
واحدة بالنظر للشدة

ويؤخذ من التنبيه المذكور أن الاجزاء المنشئة تأخذ في الاستقامة مع البطيء  
وأن الشدة كبيرا كان او صغيرا يكون على حسب هذه الاستقامة

وزيادة على ذلك يلزم العمل بمقتضى هذا التنبيه في حساب آلات البصارة  
البطيئة التحرك بطأ كافيا والتي بكراتها دائما على مسافات كافية من بعضها  
ليكون كل جزء من اجزاء الحبل عند مروره من بكر الى آخر مستوفيا للزمن  
الذي يستكمل فيه شدة وعلى ذلك فلا بد في تقويم الآلات غالباً من حساب  
المقاومات بالنظر للحالة التي تضرر بالقوى المحركة

ثم ان الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٥ تثبت الحواصل  
المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٤

وذلك اتنا وضعنا صالتي  $\overline{ط ط}$  و  $\overline{ط ط}$  الحاملتين للوحى  $\overline{د د}$  و  $\overline{د د}$   
ووضعنا ايضا لوحى  $\overline{م م}$  و  $\overline{م م}$  الغليظين في موضع ضيق وجعلنا اعلاهما  
اقصيا واضلحناهما اصلاحا تاما فكان بينهما فرجة طويلة

ولم نزل نضع بالتوالي ملفات متنوعة على قاعدتين من البلوط حتى صار محور  
هذه الملفات (شكل ١٥) عموديا على هاتين القاعدتين اللتين اطرافهما  
مستديرة وحيث انهما على غاية من التساوى علقنا في طرفي الملف اثقالا قدرها  
٢٥ كيلو غراما بخيوط من الدبارة اللينة التي تبلغ دورتها ٤ ميليمترات  
ونصفا ولا يبلغ شدة جزأ من واحد من ثلاثين من شدة الحبل المركب من ٦  
فروع وقد تحصل ضغط معين على القاعدتين بواسطة عدة خيوط من الدبارة  
الموزعة على الملفات كل منها يحمل ثقل يبلغ ٢٥ كيلو غراما في طرف  
كل ملف من تلك الملفات وبواسطة ثقل صغير يعلق بالعقاب في جهتي الملف  
نختبر القوة التي تحرك هذا الملف تحريكا مستمرا غير محسوس او تظفر أولا

بشد حبل  $\overline{ث ث}$  وثانيا باحتكاك الاسطوانة

وشدة الحبل دائما على نسبة منعكسة من قطر الاسطوانة

واما احتكاك الاسطوانة  $\overline{ب ب}$  الحاصل على مستو افقي فهو على نسبة  
مطردة بالنظر للانضغاطات ومنعكسة بالنظر للقطر فعلى ذلك كلما كان قطر  
الاسطوانات التي لها ثقل واحد كبيرا كانت مقاومة الاحتكاك صغيرة



ومثل ذلك واضح غالباً ويكثر في اشغال الزراعة استعمال الاسطوانات التي  
يداس بها على الاراضي المزروعة لتكسير ما فيها من المدر وتقنيته ودرس  
الحشائش التي عليها حتى تصير رفيعة ومساوية لحجم الارض ولا بد من تقصيص  
مقاومة الاحتكاك بقدر الامكان بحيث يمكن للفرس الواحد أن يجز بدون  
مشقة اسطوانة طويلة او ثقيلة وهذا جار في انكلترة قري الانكليز  
يستعملون اسطوانات مخوفة من الحديد الصب جامعة بين الصلابة والخفة وكبر  
القطر وحيث انه في الاسطوانات المتساوية الحجم يكون مقدار اينرسي المخوف  
منها اكبر من مقدار اينرسي المصنعة فان القوة المكتسبة من الاسطوانة تتغير  
في ادنى النسب واصغرها بالموانع التي يلزم أن تقاومها الاسطوانة وتظفر بها  
ويجربى مثل ذلك في استعمال العجلات في النقل على اختلاف انواعه

وحيث انتهى الكلام على الاحوال الاصلية المتعلقة بنوازن البكرات  
المستعمل كل منها على حدته اومع بعضها بطرق مختلفة ناسب أن تقتصر على  
طرق صناعة هذه الآلات فنقول ان عمل البكرات من اهم فروع الصناعة  
لا سيما عند البحارة وله كيفية مخصوصة وبطلق اسم البكراتية على صناع  
هذه الآلات

ولم تعرض في كتابنا هذا لذكر البكرات المعدنية التي تصنع اجزاؤها الاصلية  
بقوالب مخصوصة معينة مع الاهتمام ومصنوعة على منوال الاشياء التي  
يصنعها النجارون مع الضبط والاحكام ومسبوكة من الحديد والنجاس  
ومشغولة على حسب قواعد صحيحة مضبوطة بل اقتصرنا على بيان صناعة  
البكرات المتخذة من الخشب ولذا ذكر ذلك فنقول

تصنع بكرات الخشب بعمل قرصها بالمشار والمخرطة وصندوقها بالآلات القطع  
الشبيهة بالآلات النجار وصانع القباقيب وقد يصنع بالآلات اخرى صناعة  
مفيدة وهو مركب من اربعة وجوه كل اثنين منها موازيان لمستويي التماثل  
الذين احدهما مواز لمستويات الاقراص والاخر عمود عليها  
وقد اخترع برينيل الميكانيكي وهو من علماء القرن سابعة لاجل عمل الوجوه

المذكورة كاجزاء الاسطوانة المستديرة طريقة بديعة في صناعة ذلك وهي أن  
تثبت على محيط عجلة كبيرة قطعا من الخشب بحقوة تجويفاً مربعاً ودلاية  
للبكرات المطلوبة في الطول والعرض والسلك وبعد تثبيت تلك القطع على المحيط  
المذكور تثبيتاً جيداً نذير ذلك المحيط على وجه بحيث يكون تحركه منتظماً  
ثم نصنع الوجه الخارج لكل قطعة ويكون كل وجه من هذه الوجوه على  
شكل قوس اسطوانة قائمة مستديرة محورها هو عين محور العجلة وبعد ذلك نذير  
من الزاويتين القائمتين كل قطعة من قطع الخشب بحيث يصير وجوها  
الخارجة داخلها بالنسبة للدائرة التي تحملها ثم نحرك العجلة الكبيرة ونصنع  
وجوه القطع التي صارت خارجية ثم نأخذ هذه القطع ونضعها على عجلة  
جديدة لها قطر موافق وعند ذلك نصنع في كل صندوق الوجهين اللذين لم يصنعا  
وتكون صناعتها على شكل قوسى اسطوانة مستديرة نصف قطرها مباين  
لنصف قطر الاسطوانة السابقة وتكون ملائمة لصورة الصندوق

فتكون القوة المحركة على طريقة برونييل حادثة من آلة بخارية وقد تكون  
حادثة من دوران الخيل او من قوة الماء او من قوة الناس والمطلوب لنا هنا هو  
تفاصيل العجلة ونحركاتها المستديرة

وهناك صناعة اخرى لابد منها وهو عمل الثقوب ذات الوجوه المستوية التي  
يوضع في كل منها قرص بكرة وهذه الصناعة اذا حصلت بالكيفية المعتادة  
بالمطرقة والمقراض كانت بطيئة صعبة بخلاف ما اذا كانت بمنقش ثقب به  
في طرف من اطراف الاقراص ثقباً اسطوانياً في جهة محل القرص يكون  
قطره مساوياً بالعرض هذا المحل ثم ننشر بمنشار رفيع جداً داخل في هذا الثقب  
من جهتي اليمين والشمال جزأً من الخشب المراد ازالته لاجل عمل محل القرص  
فانها بهذه الطريقة تكون سهلة

ولما منع من أن نستعمل في ذلك مقراض يكون له بواسطة قوة مستمرة  
تحركاً متردداً وهذه الطريقة هي التي اختارها العالم هويرت احدى مهندسى

المحارة

فلنفرض اذن عوضا عن قوة  $\overline{ح}$  آولا قوة  $\overline{ح}$  المساوية والموازية لها  
والمارة بنقطة  $\overline{و}$  التي هي مركز الطارة وثانيا قوتين مساويتين  $\frac{1}{2} \overline{ح}$   
ومتجهتين على وجه بحيث يديران الطارة في جهة واحدة ويؤثران في طرفي  
قطرها ولما كان تأثيرا تبين القوتين انهما هولا جل دوران الطارة على مركزها  
بدون أن يدفع ذلك المركز الى اى جهة كانت ليدفع ايضا مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
الى اى جهة كانت

فحينئذ يكون ضغطا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ح}$  الحاصلان على مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
حادثين من قوة  $\overline{ح}$  المساوية والموازية لقوة  $\overline{ح}$  والمؤثرة في نقطة  $\overline{و}$   
التي هي مركز الطارة تأثيرا يكون على مستقيم واحد مع هذين المسندين  
فاذن تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ح} = \overline{ح} + \overline{ح} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{وم} = \overline{ح} \times \overline{ون}$$

$$\text{او } \overline{ح} \times \overline{من} = \overline{ح} \times \overline{وم} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{من} = \overline{ح} \times \overline{ون}$$

وبمثل ذلك يبرهن على أن مقاومة  $\overline{ر}$  تحدث على مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
ضغطى  $\overline{ر}$  و  $\overline{ر}$  بحيث تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ر} = \overline{ر} + \overline{ر} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{سم} = \overline{ر} \times \overline{سن}$$

$$\text{او } \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{سم} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{سن}$$

وحرف  $\overline{س}$  هنا يدل على النقطة التي يكون فيها اتجاه مقاومة  $\overline{ر}$  ساقطا  
سقوطا عموديا على محور الاسطوانة  
ويؤخذ من هذه المعادلات مباشرة أن

$$\overline{ح} = \overline{ح} \times \overline{وم} = \overline{ح} \times \overline{ون} \text{ و } \overline{ر} = \overline{ر} \times \overline{سم} = \overline{ر} \times \overline{سن}$$

وهذه مقادير بسيطة سهلة الحساب

فاذا كانت قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  مارتين بنقطة  $\overline{م}$  وقوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

مارتين بنقطة  $\overline{ن}$  - مل تحصيل محصلتها وهي الضغط الكلي الحاصل على  
 مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$  من القوة والمقاومة  
 ثم ان اسهل الصور في هذا المعنى واعلمها هو ما كانت فيه قوة  $\overline{ح}$  موازية  
 لمقاومة  $\overline{ر}$  فعلى ذلك تكون  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ر}$  متوازية ايضا  
 وتكون محصلة  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  هي  $\overline{ح} + \overline{ر}$  ومحصلة  $\overline{خ}$  و  $\overline{ر}$   
 هي  $\overline{ح} + \overline{ر}$  وهذه هي الصورة التي يقع فيها على المسندين اعظم ضغط  
 يمكن بالنظر لمقدارين مفروضين للقوة والمقاومة

فاذا لم تكن القوة والمقاومة متوازيتين فان  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ر}$   
 لا تكون ايضا متوازية ابدا فتكون  $\overline{م}$  هي محصلة  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$   
 و  $\overline{ن}$  هي محصلة  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  وذلك بواسطة متوازي الاضلاع للقوى

المينة بمستقيمان  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$  و  $\overline{ن}$  و  $\overline{ن}$   
 وحيث كانت القوة دائما واقعة على مستوى الطارة فان الضغط الحاصل منها  
 للمسندين يبق على حاله لا يتغير لكن اذا كانت المقاومة حاصلة في طرف الحبل  
 الذي يلف او ينسرد ريجما بحيث يتكون منه حارزون على اسطوانة المنجنيق  
 فان تلك المقاومة تنقل تارة الى احد المسندين واخرى الى الاخر وبذلك يزداد  
 الضغط الحاصل على المسند الاول لينقص الضغط الحاصل على الثاني وهذا  
 بحسب النسب المتقدمة وحيث ان كانت المقاومة مجاورة بالكلية لاحد  
 المسندين فانها تحدث عليه ضغطا يكاد يكون مساويا لقوته الكلية بخلاف  
 الضغط الحاصل على المسند الاخر فانه يكاد يكون معدوما ومتى كانت  
 المقاومة على بعد واحد من المسندين صار الضغطان متساويين

هذا ويلزم عمل المنجنيق على وجه بحيث تكون صلابته كافية لان يقاوم مسنده  
 اعظم ضغط ممكن

ثم ان المنجنيق كغيره من الآلات المتقدمة التي اختبرنا تأثيرها يقطع فيه النظر

عن ثقل الآلة ويقطع النظر ايضا عن قطر الحبل المقروض انه صغير جدًا  
والاوجب أن تكون قوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$  واقعتين على اتجاه محور الحبل وبناء  
على ذلك يضاف الى قطري الاسطوانة والطارة نصف قطر الحبل المستعمل

وبالجملة فتى اثرت قوة  $\overline{ح}$  (شكل ٢) على حبل  $\overline{أ ب ح}$  الذي له  
سمكت معين وشدت جميع اجزائه بالسوية فان هذا الحبل يكون مستدير او تكون  
محصله سائر الجهودات الحاصلة في كل جزء على كل فرع من الحبل مارة بمركز  
هذا الحبل واذن يمكن أن نعتبر قوة  $\overline{ح}$  المحلولة لاجل التأثير في جميع فروع  
الحبل كأنها واقعة على محور الحبل المذكور وحينئذ يكون مقدار هذه القوة  
مساويا  $(\overline{ث} + \overline{١١}) \times \overline{ح}$  اعني أنه يكون مساويا لنصف قطر  
الطارة زائدا نصف قطر الحبل مضروبا في القوة

فاذا اعتبرنا الآن تأثير حبل  $\overline{س ر}$  المشدود من احد طرفيه بمقاومة  $\overline{ر}$   
والمقفوف من الطرف الاخر على اسطوانة  $\overline{ث}$  ظهر لنا بهذين الامرين  
أن تأثير قوة  $\overline{ر}$  الحاصل على الاسطوانة هو كتابة عن مقدار  $(\overline{ث} + \overline{س ر})$   
مضروبا في المقاومة المؤثرة في هذا الحبل

وعلى ذلك ففي المصنوع الذي نصف قطر طارته  $\overline{ث أ}$  ونصف قطر اسطوانته  
 $\overline{ث س}$  ونصف قطر حبله المشدود بقوة  $\overline{ح}$  المؤثرة في الطارة  $\overline{١١}$   
ونصف قطر حبله المشدود بقوة  $\overline{ر}$  المؤثرة في الاسطوانة  $\overline{س ر}$   
يكون شرط التوازن هو مساواة حاصل ضرب القوة في مجموع نصفي قطري  
الطارة والحبل المشدود بهذه القوة لحاصل ضرب المقاومة في مجموع نصفي  
قطري الاسطوانة والحبل الذي يشد هذه المقاومة

فاذا كان المطلوب أن القوة او المقاومة تقطع مسافات كبيرة لم يكف في ذلك  
وضع صف واحد من ادوار الحبال على الطارة بل يلزم لذلك غالبا وضع صفين  
او ثلاثة ولا يخفى أن القوة في كل صف جديد تكون متباعدة بالتدريج عن  
المحوريه واحد وهو قطر الحبل في كل دور وبذلك يزداد كثيرا بعد المركز عن

اتجاه القوة ويلزم الاعتناء بضبط العملية عند تقويم النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة في حساب توازن منجنيق واحد او اكثر تقويم مضبوطا ثم ان غلط الجبال لا يغير شيئا من وضع مركز الطارة بالنظر للقوة ولا من نقطة المحور التي يتوهم فيها اسقاط المحصلة لاجل التأثير على المساند فعلى ذلك لا يتغير بغلظ الجبال شيء من الضغط الحاصل على المساند

ولكن اذا تحرك المنجنيق فان غلظ الجبال يضم مقاومته لخصوصية الى سائر المقاومات ويكون كما تقدم على نسبة مطردة بالنظر للشدود البسيطة ومربع قطر الجبال وعلى نسبة منعكسة بالنظر لقطر اسطوانة المنجنيق وطارته او نصف قطرهما ويؤخذ من ذلك انه ينبغي في استعمال المنجنيق مزيد الاهتمام بعمل جبال تكون قوتها عظيمة جدا بالنظر لقطر مفروض

ولنلاحظ ما ينشأ عن القوة والمقاومة من التأثير الظاهر الواقع على عمود المنجنيق فنقول انه بواسطة تأثير قوة ج تجبر الاسطوانة او عمود المنجنيق على الدوران في نقطة و (شكل ١) نحو ح الذي هو اتجاه تلك القوة وبواسطة تأثير مقاومة ر يجبر ذلك العمود ايضا على الدوران في س نحو ر الذي هو اتجاه تلك المقاومة المقابلة لاتجاه نقطة القوة فاذا لم يكن العمود مركبا من مادة لا تتغير فان هذين التأثيرين المتضادين يؤثران فيه كثيرا او قليلا و يلتوى التواء مناسبا لمقدارى القوة والمقاومة

وسياتى في الدرس المعقود للبريمة تفصيل ما يتعلق بتأثير قوة الالتواء بصورة الحزون التي تكاد تجعل الالياف المستقيمة اسطوانات اى اعمدة تستعمل في الآلات وذلك من اهم الاشياء في متانة العمارات ومكشها

**\* (بيان تأثيرات التناقل في المنجنيق) \***

وما سلفناه في شأن تأثيرات التناقل في البكرات يجرى ايضا في شأن التأثيرات الحاصلة على المنجنيق والطارات المضرسة

ومن القوى المعدومة ما يستعمل في الظفر يا نيرسى الاسطوانة والطاراة ويلزم أن يضاف الى الانضغاطات الواقعة على كل محور وكل نقطة من نقط

الارتكاز الضغط الرأسى الحاصل من ثقل طارة الاسطوانة والجبال  
واما الجبل الذى يلتف من طرف على اسطوانة المنجنيق او المعطاف ويربط  
من الطرف الآخر بالمقاومة فانه عند التناقص على الاسطوانة يتقطع ثقله  
بالتدريج عن أن يكون جزءاً من المقاومة الأصلية ويكون جزءاً من المقاومة  
التي تعرض لها من الاسطوانة وبذلك يكاد يتقص في كثير من الصور المقدار  
الكلى للمقاومة

ولاجل بقاء هذا المقدار الكلى على حاله دائماً يستعمل في الغالب ثقل معلق  
بطرف الجبل مقابل للثقل الذى يشد المقاومة فينفرد الجبل حينئذ من جهة  
الثقل بقدر ما يلتف من جهة المقاومة وبالعكس وبالجملة فالجبل يلتف دائماً  
على الاسطوانة بهذا القدر وبناء على ذلك تكون النسبة الحاصلة بين القوة  
والمقاومة واحدة دائماً حتى صارت سرعة التحركات منتظمة

ثم ان الضغط الحاصل على المحاور ونقطة الارتكاز يعظم بقدر ثقل الاسطوانات  
والطارات التي تتركب منها الآلات المستعملة فيلزم اذن أن تكون اتصالاتها  
صغيرة مهما امكن لكي تنقص بقدر الامكان المقاومات الحادثة من الآلات  
وسياً في توضيح ذلك في الكلام على الاجتمكاكات

وتستبدل في الغالب طارة المنجنيق بذراع رافعة تكون القوة واقعة عليه  
فاذا كان هذا الذراع مستقيماً يسمى قضيباً والمناويله وهى الملولى هى في العادة  
رافعة منكسرة بهامق يض تكون يد الانسان عليه كالقوة (شكل ٣)

وفي الغالب يستعمل بدلا عن قرص البكرة لاجل تحريك عمود المنجنيق  
طارات ذات مدرجات واخرى ذات طناير فاما ذات المدرجات (شكل ٥)  
فيصعد على مدرجاتها الغائرة في بين محيط الطارة وشماله كما يصعد على درج  
سلم التسلق ويحصل التحرك اذا كان حاصل ضرب جهد ثقل الصاعد في بعد  
مركز الطارة عن الخط الرأسى الممتد من ثقل ذلك الصاعد يزيد على حاصل  
ضرب ثقل المقاومة في بعد محور الطارة والاسطوانة عن الخط الرأسى الممتد  
من مركز ثقل تلك المقاومة

وفائدة هذه الآلة هي ان الصاعد على المدرجات يكون بعيدا ما امكن عن الخط  
الرأسي الممتد من مركز الطارة وبناء على ذلك يعظم تأثيره بقدر الامكان  
كلما فرضت الطارة كبيرة

وهناك طارات اخرى عريضة ومجوفة في داخلها مسلك يمر منه الشغالون  
المنوطون بتسيير الآلة وفي هذه الصورة كالتي قبلها تقاس النسبة الحاصلة  
بين القوة والمقاومة وسياً في الدرس الحادى عشر المختص بالمستويات  
المائلة بيان كيفية وقوع قوة الصاعدين بياناً شافياً

ويكثر في بلاد الانكليزا استعمال الطناير التي تقع عليها قوة الانسان بطرق  
متنوعة ولنفرض طنابورة او اسطوانة كبيرة انقطر على محيطها درجات  
صغيرة بارزة مثبتة على بعد واحد من بعضها موضوعة على وجه بحيث  
يسهل على من تكون يدها متكئة على قضيب افقى أن يصعد عليها خطوة بخطوة  
بدون احتياج الى مدرج عليه مدداً كبيراً ثم ان الاشخاص المعدين لتحريك  
الطنابورة يقفون بجانب بعضهم ويقبضون بأيديهم على القضيب الافقى المذكور  
واما ارجلهم فانه عند قفلها يضعونها بالتعاقب على الدرجات المزدوجة  
او غير المزدوجة لتدويرها الاسطوانة وهذا الشغل الممتنع للمسجونين  
معدود من العقوبات الشديدة ويؤخذ من ذلك أن قوة الناس المؤثرة يمكن  
أن نستعمل في تحصيل امور نافعة فاذا كانت المقاومة واقعة على محيط سهم  
الطنابورة كانت نسبة المقاومة الى القوة كنسبة بعد محور الطنبورة عن الخط  
الرأسي الممتد من مركز ثقل الشغالين الى نصف قطر سهم الطنبورة المذكورة  
والارغاث الاقفية هي آلة مركبة من اسطوانة اقفية كاسطوانة المنجنيق  
ومن قضبان او روافع غائرة من احد طرفيها في ثقوب مصنوعة على محيط  
الاسطوانة من جهة طرفيها واما الطرف الاخر من القضبان فانه يقع عليه  
تأثير جهد ايدي الشغالين ونسبة القوة الى المقاومة هنا كنسبة نصف قطر  
السهم زائداً نصف قطر الحبل الذي تربط به المقاومة الى بعد المحور عن النقطة  
التي يقع عليها تأثير ايدي الشغالين



ولامانع من استعمال الآلة المذكورة في جوانب السفن وتستعمل ايضا في عربات النقل الضيقة الطويلة المعروفة بالسكاسيون وفي هذه العربات يوضع سهم آلة الارغات امام العجلات ويكون الجبلان الملتفان على السهم مربوطان من طرفيهما في النهاية الخارجة من العربتين موضوعين فوق البضائع فاذا كان تأثير الجهد حاصلًا بواسطة قضبان الآلة المذكورة لاجل لف الجبلين كثيرا فانهما يجبران على أن يكونا دائما في مسافة صغيرة وعلى ضم البضائع لبعضهما وحرزهما بحيث لا يمكن وقوعها بالتأثير الناشئ عن الارتجاج

ويكثر استعمال المنجنيق وآلة الارغات في الصناعة فترى ببلاد انكلترا على واجهات المخازن الكبيرة المعدة للتجارة خيوطا رأسية لاجل اسناد الشبايك وترى ايضا فوق واجهة الشباك الزائد عن غيره في الارتفاع بكرة ثابتة دائما في طرف الحلقة التي تكون تارة بارزة من الخائط وتارة ملصوقة به وذلك على حسب ما يراد فاذا كان المطلوب رفع بضائع او تنزيلها فانهم يرتبطونها في طرف جبل يمر ببكرة ثابتة ويصل الى المخازن فيلتف على سهم المنجنيق المتحرك تارة بالمانويل وتارة بالعجلات وما تشبه ذلك ومن المهم استعمال الآلات البسيطة لاسيما المنجنيق في تجارات فرنسا

ثم ان آلة العيار (المعدة لرفع الاحجار) هي من متعلقات المنجنيق والغرض منها امران احدهما رفع الحمل او خفضه وثانيهما وضعه في محل لا يكون على الخط الرأسى المقابل لوضع الحمل الاصلى فيلزم عمل حلقة تدور على السهم الرأسى ويكون في طرفها الاعلى قرص بكرة ثابتة وفي طرفها الاسفل سهم المنجنيق او آلة الارغات المتحركة باحدى الطرق السابقة اعنى القضبان او الطنابير

فاذا اقتضى الحال اخراج ما في السفن من البضائع ووضعها على الرصيف وكان العيار موضوعا على طرف ذلك الرصيف القريب من السفن فالتا ندير حلقة العيار الى النقطة التي يكون فيها القرص الثابت في الذراع الاعلى من الحلقة موضوعا رأسيا على قنطرة السفينة ( المعروفة عند الملاحين بالكويرته ) التي يراد تدويرها وتربط البضاعة في طرف الجبل الذي يمر بالبكرة

الثابتة ويلتف على اسطوانة المنجنيق ثم توجه تأثير القوة المعدة لتحريك هذا المنجنيق الى الجهة اللازمة لرفع الحمل فاذا وصل هذا الحمل الى الارتفاع اللازم ابطلنا دوران المنجنيق وندير الحلقة على سهمه حتى تصل الى النقطة التي يكون فيها الحمل المعلق في تلك الحلقة موضعا رأسيا على الرصيف فينبذ يقع على القوة تأثير المقاومة ويبسط الحمل بواسطة تأثير ثقله حتى يصل الى الرصيف او العربة التي تكون مسامحة لهذا الحمل ثم ان اغلب العيارات يتحرك بواسطة قوة البشر ومنها ما يتحرك بقوة البخار وقد ذكرنا من هذه الآلات ما هو اكثر استعمالا في الجزء الثالث من رحلتنا الى بلاد ابريطانيا الكبرى (قوة تجارية داخلية) وذكرنا ايضا تلك الآلات امثلة عديدة مع ما يلزم لها من الاشكال الهندسية وهي قليلة الحجم كثيرة الصلابة لكن جميع اجزائها من الحديد

ولا بد في عمل العيارات مع الضبط أن يكون صانعها اليده الطولى في الهندسة والميكانيكا حتى يجعل لاجزائها المتنوعة اشكالا وتناسبات تنفع جدا في ضبط الحركات وتلطيفها ولا بد ايضا أن تكون الاجزاء المتحركة من العيار خفيفة بقدر الامكان وأن تكون صلبة على حسب ما تقتضيه الضرورة لان قوة ايترسي الاجزاء الثقيلة جدا تستلزم في نظير ما ينعدم منها جهدا يترتب عليه توفيرها وما ذكرناه سابقا من القواعد وما سنذكره منها في هذا الجزء له شواهد واضحة في صناعة العيار وغيره من سائر الآلات التي هي من قبيل المنجنيق

ومن الآلات الشبيهة بالمنجنيق آلة رفع الاثقال المعروفة بالعيوق وهي مركبة من سهم افقي موضوع قريبا من قاعدة المثلث الحادث من عارضة افقية وقائمين مائلين ومن بكرة مثبتة في الرأس الذي يلتصق فيه القائمان ببعضهما وهذا المثلث الذي قاعدته على الارض يكون ممسكا من رأسه بساق ثالث مائل الى جهة تضاد الجهتين الاوليين فاذا كان المطلوب رفع حمل فان هذه الآلة توضع على وجه بحيث يكون الحمل بين سيقان الآلة الثلاثة ويكون احد طرفي الحبل المار بالقرص الثابت ممسكا للعمل والطرف الاخر ملتفا على سهم المنجنيق

المختزل بواسطة القضبان او الروافع وكثيرا ما نتعمل الآلة المذكورة  
في اشغال الطوبجية وقد تقدمت صورتها ( في شكل ٧ من الدرس الرابع  
من الجزء الاول )

والمعطاف ( شكل ٨ ) هو منجنيق محوره رأسى والقضيب او القضبان  
المعدة لتحرير بكة اقية

ويحقق التوازن في العيوق والارعات والمعطاف متى كان حاصل  
ضرب القوة في طول ذراع الرافعة الواقعة على طرفه هذه القوة مساويا لحاصل  
ضرب المقاومة في نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الحبل الذي تكون  
هذه المقاومة مربوطه به

فاذا كان هنالك عدة قضبان وعدة قوى واقعة عليها لم يضرب كل قوة في طول  
ذراع رافعتها واخذ مجموع هذه الحواصل وهذا المجموع هو الذي يكون  
مساويا لمقدار المقاومة

وليس تأثير تناقل الآلة على تقطى الارتكاز واحدا في المنجنيق والمعطاف  
اذ في المعطاف يكون السهم المعروف بالحرس رأسيا وتكون القوة والمقاومة  
منجهتين اتجاها اتقيا فيكون تأثيرهما على تقطى الارتكاز ضغطا اتقيا وينشأ  
عن تناقل سهم المعطاف وقضبانها ضغط رأسى لاعلى المحيط المستدير المعد  
لدخول اصبعي السهم بل على القاعدة الموضوعة تحت ذلك السهم في اتجاه  
المحور وهذه القاعدة التي هي في العادة مجنوقة كالطليسان الكروي تعرف  
بالسكرجة

ولا يتأتى في المعطاف حسبا هو مشاهد أن يكون الضغط الافقي الواقع على  
تقطى الارتكاز ناشئا الا عن تأثير القوة والمقاومة لان نقل الآلة لا يدخل له  
في ذلك بالكلية

ويستعمل المعطاف غالبا في الاشغال الداخلية لاجل جراح الاجال جراحا اتقيا  
فتزحلق هذه الاجال على الملفات الاسطوانية المتخذة من الخشب او الحديد  
وقد تترحلق على عجلات صغيرة او كرتجري في افاريز مجنوقة وسبب اختراع

هذه الطريقة الأخيرة انهم ارادوا نقل كتلة عظيمة عليها صورة بطرس الاكبر  
في مدينة سنت بترسبورغ

ويستعمل المعطاف ايضا في الفنون الحربية لاسيما في الطوبجية لاجل اجراء  
اشغال هذه القوة العسكرية في الترهانات والمعسكرات والمحاصرات  
وكذلك يستعمل مع الاهتمام في جوانب السفن لاجل اجراء لوازمها واشغالها  
ومعطاف السفن الاكبر (شكل ٧) على صورة سهم رأسى يثقب الكويرتين  
ويستقر على سكرجة موضوعة في الكويرنة المستعارة ويحيط بهذا السهم  
في احدى الكويرتات المتوسطة بحرس على شكل مخروط عوضا عن أن يكون  
على شكل اسطوانة ولا بد أن يكون على محيط هذا الحرس عدة ادوار من الجبل  
المعد لتشد المقاومة ويلزم أن نوضح هنا تأثير هذه الصورة المخروطية فنقول

قد سبق أن الخطوط الحلزونية المرسومة على سطح الاسطوانة هي اقصر خطوط  
يمكن رسمها بين نقطتين على مثل هذا السطح وعليه فتكون القوى الواقعة  
على طرفي الجبل المنثنى على صورة خط بريفي حول الاسطوانة في اتجاه هذا  
الخط البريفي شادة بالضرورة للجبل المنثنى كور في اتجاه ذلك الخط البريفي  
وفي هذا الوضع تكون القوتان المؤثرتان بعماسة الخط البريفي مائلتين بالنسبة  
لاضلاع الاسطوانة او بالنسبة للعمود. غير أن اتجاه القوة والمقاومة يكون  
كما سبق في تعريف المنحنى والمعطاف عموديا على اتجاه الاضلاع ومحور السهم  
وحيث لا تؤثر المقاومة الواقعة على الطرف الخالص من الجبل المنثنى انثناء  
حلزوني على سهم المنحنى او المعطاف في اتجاه الخط الحلزوني فاذن ينشأ عن تأثير  
هذه القوة اختلال الجبل واضطرابه بحيث لا يبقى على الاتجاه الحلزوني الذي  
كان عليه وينشأ عن تأثير المحصلة ضغط شديد لجزء الجبل المنثنى كما سبق انشاء  
حلزوني على محيط السهم بحيث اذا انضم جزء هذا الجبل الى بعضه امتد لا الخط  
البريفي شيئا فشيئا حتى يصير المماس لهذا الخط البريفي في اتجاه المحصلة التي  
يحصل فيها الخلل ايضا

وحيث انه يلزم في تحريك المعطاف أن تقطع المقاومة بواسطة هذه الآلة مسافة

كبيرة تساوى طول قنة مثلالها من الامتار عدة مات فاذا تصورنا ان القنة ملتفة مباشرة على جرس المعطاف لزم أن تحدث ادوارا كثيرة على نفسها وبذلك يزداد قطر الجرس وتنقص شدة القوة

ويمكن تدارك هذا الخلل بواسطة حبل غير متناه يعرف بالحبل البرمى وذلك انه يوجد في هذا الحبل على ابعاده من عقد معتبرة كنقط منع ووقوف لاجل ربط القنة التي يراد شد هابه فتدير هذا الحبل خمسة ادوار او ستة دورانا حلزونيا على جرس المعطاف وكذا دار المعطاف التف طرف الحبل البرمى الاسفل وانفرد طرفه الاعلى فاذا كان الجرس اسطوانيا فانه يستمر على التحرك بهذه الكيفية حتى يصل الحبل البرمى في اقرب وقت الى اسفل ذلك الجرس فيشتبك حينئذ بين الجرس و سطح كويرة السفينة او يجبر على الالتفاف من جهة مضادة لجهته ليحصل صف آخر من الحبل الموقوف على الجهة الاولى ولكن لا تغفل أن صورة جرس المعطاف مخروطية ومجوفة من اسفلها فعلى ذلك يتحصل من تحليل القوى على ماسنذ كره في شأن المستوى المائل انه كلما قوى شد الحبل البرمى بتأثير المقاومة قوى ايضا ضغط هذا الحبل لاجل رفع جزء الحبل البرمى المتبقى كما سبق انشاء حلزونيا وبكفي هذا الضغط من زمن الى آخر في رفع سائر الادوار الحلزونية ودفعها الى اعلى

وهذا التأثير الاخير ينشأ ايضا عن كون جرس المعطاف بعد أن كان مخروطيا لا يسهل به رفع الحبل في سائر الاوقات صار سطح دوران مجوقا من جزء المتوسط كسطح الجرس الذي اخذ منه اسمه وكما التف الحبل على هذا الجرس وهبط الى اسفل كان على قطعة مخروطية مجوفة جدا وهذا الميل كما سيأتى في مجتأ المستوى المائل يكسب شد الحبل قوة عظيمة حتى يرفع سائر الادوار الحلزونية الحادثة على الجرس وينقلها الى الجزء الاعلى من المعطاف وهذه الطريقة البدیعة يجبر الخلل المتقدم

وبالجملة ففي الحالة التي يكون فيها الحبل البرمى عند هبوطه الى اسفل الجرس ملتقا على نفسه مع وجود صورة الجرس يتلاقى الحبل المذكور مع

عجلتى ر و ر الصغيرتين البارزتين اللتين يكون محورهما موضوعا على  
محيط قاعدة جرسين ويكون على هاتين العجلتين مستوى ١١ المائل  
الذى يدفع الجبل البرمى يبعده على الصعود

فاذا فرضنا حيثنذكره يوجد علة منحيقات او معاطيف مثل **ا ب ث**

وَأَبْتٌ، وَأَبْتُ الخ (شكل ٩، ١١) موضوعة على وجه

بحيث تكون  $\frac{C}{H}$  هي القوة المؤثرة على جبل النجنيق الاول ويكون جبل

بأ ملةغا من احد طرفيه على اسطوانة المنجنيق الاقل ومن الطرف الآخر

على عمله الثاني ويكون ايضا حبل ساء ملتقا على اسطوانة المنجنيق الثاني

وعجلة الثالث وهكذا فرضنا ايضا ان  $\bar{r}$  ,  $\bar{r}$  ,  $\bar{r}$  الخ هي شذوذ

حاصله لخبال منوعة لزم أن تكون رَ و رَ و رَ الخ معبرة على التوالى

كقوة المنجنيق الثاني والثالث والرابع الخ

فأذن تحصل هذه التناسبات الدالة على حالة التوازن وهي

$$ح : ر :: ثب : ثا, \frac{ثب}{ثا} = \frac{ح}{ر}$$

$$ر : ز :: شَب : شَأ$$

$$\frac{شَب}{شَأ} = \frac{ر}{ز}$$

$$\text{ر} : \text{ر} :: \text{ثَب} : \text{ثَا}, \frac{\text{ر}}{\text{ر}} = \frac{\text{ثَب}}{\text{ثَا}}$$

فإذا ضربنا الحدود الأول من هذه المتساويات في بعضها والحدود الثانية في بعضها ايضا تحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{الخ}}{\text{ر} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{الخ}} = \frac{\text{ث} \times \text{ث} \times \text{ث} \times \text{الخ}}{\text{ث} \times \text{ث} \times \text{ث} \times \text{الخ}}$$

وإذا قطعنا النظر عن الحدود التي يعمو بعضها بعضا فنحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ش} \times \text{ث} \times \text{ث}}{\text{ر} \times \text{ث} \times \text{ث}} = \frac{\text{ح}}{\text{ر}}$$

وعلى ذلك تكون نسبة القوة للمقاومة في عدة منجنيقات او معايط كمنسبة حاصل ضرب انصاف اقطار ساير الاسهم الى حاصل ضرب انصاف اقطار جميع العجلات

فاذا اردنا أن ندخل في هذا المقدار قطر الجبال لزم أن يكون التوازن حاصلًا متى كان حاصل ضرب القوة في انصاف اقطار العجلات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على العجلة المقابلة له مساويا لحاصل ضرب المقاومة في انصاف اقطار الاسطوانات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على الاسطوانة المقابلة له

ثم ان الطريقة الآتية تستعمل غالبًا في تحويل تحريك دوران من محور مفروض الى محور مواز له وكيفية استعمالها أن نثبت على كل من محوري  $\text{ث}$  و  $\text{ش}$  (شكل ١٠) قرصين  $\text{ث} \text{أ}$  و  $\text{ش} \text{أ}$  ونحيطهما بجبل  $\text{أ} \text{ب}$  غير المنتهى الذي يوجد به فروع صغيرة قريبة جدًا من بعضها ومربوطة في تجويفات مصنوعة في محيط القرصين لتمنعه عن التزحلق فإذا كانت  $\text{ح}$  هي القوة المحركة للعجلة الكبيرة والمؤثرة في طرف ذراع رافعة  $\text{ش} \text{د}$  كان  $\text{ش} \text{د} \times \text{ح}$  هو مقدار القوة المذكورة وإذا كان  $\text{ط}$  هو شد الجبال لزم أن عجلة  $\text{ث} \text{أ} \text{ب}$  تكون  $\text{ش} \text{د} \times \text{ح} = \text{ط} \times \text{ث} \text{أ}$  فإذا كان

$$\text{ط} = \text{ح} \times \frac{\text{ش} \text{د}}{\text{ث} \text{أ}}$$

وإذا كان  $\text{ر}$  هو المقاومة المؤثرة في طرف ذراع  $\text{ش} \text{د}$  فنحصل معنا بلا واسطة شرط التوازن وهو

$$\text{ر} \times \text{ش} \text{د} = \text{ط} \times \text{ث} \text{أ} \quad \text{فإن} \quad \text{ط} = \text{ر} \times \frac{\text{ش} \text{د}}{\text{ث} \text{أ}}$$

غير أن شد  $\overline{\text{ط}}$  الحاصل من القوة يكون عين شد  $\overline{\text{ط}}$  الحاصل من المقاومة

$$\text{وبناء على ذلك تكون } \overline{\text{ح}} \times \frac{\text{شد}}{\overline{\text{شأ}}} = \overline{\text{ر}} \times \frac{\text{شد}}{\overline{\text{شأ}}}$$

فإذا فرضنا أن  $\overline{\text{شد}} = \overline{\text{شد}}$  فنحصل  $\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شأ}} = \overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شأ}}$

وهذا من شروط التوازن البسيطة جدًا

ولنفرض في حالة التحرك أن ذراع  $\overline{\text{شد}}$  الذي تكون قوة  $\overline{\text{ح}}$  واقعة عليه

يحدث دورة في زمن  $\overline{\text{ط}}$  ثم ننظر كم دورة يحدثها في هذا الزمن ذراع  $\overline{\text{شد}}$

الذي تكون مقاومة  $\overline{\text{ر}}$  واقعة عليه

فيدور قرص  $\overline{\text{أب}}$  دورة كاملة في مدة دورة  $\overline{\text{شد}}$  وتقطع كل نقطة

كنقطة  $\overline{\text{آ}}$  على الحبل غير المتناهي مسافة تساوي محيط العجلة غير أن كل

نقطة من نقط العجلة الصغيرة تكون سريعة الحركة كالخيل غير المتناهي لأن

المفروض أن الحبل دائماً لا يتزحلق بطول العجلات فاذن تقطع نقطة  $\overline{\text{آ}}$  في مدة

زمن  $\overline{\text{ط}}$  على عجلة  $\overline{\text{أه}}$  مسافة تساوي محيط  $\overline{\text{أب}}$  وحيث أن

طول المحيطات مناسب لطول انصاف الأقطار يكون محيط  $\overline{\text{أه}}$  الصغير

محصوراً في الكبير بقدر انحصار نصف القطر الصغير في الكبير وحينئذ يلزم أن

نقطة  $\overline{\text{آ}}$  تحدث دورات بقدر انحصار  $\overline{\text{شأ}}$  في  $\overline{\text{شأ}}$  حتى تقطع على

العجلة الصغيرة مسافة تساوي محيط العجلة الكبيرة

فإذا ضربنا عدد الدورات في مقدار المقاومة وهو  $\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شد}}$  فنحصل معنا

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شد}} \times \frac{\overline{\text{شأ}}}{\overline{\text{شأ}}} \times \text{محيط هـ أب}$$

وهي كمية مساوية بالضبط لقوة  $\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} \times \text{محيط هـ أب}$

$$\text{حيث أن } \overline{\text{ح}} \times \frac{\overline{\text{شد}}}{\overline{\text{شأ}}} = \overline{\text{ر}} \times \frac{\overline{\text{شد}}}{\overline{\text{شأ}}} \text{ يحدث منه}$$

$$\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{ر}} \times \frac{\overline{\text{شأ}}}{\overline{\text{شأ}}} \times \overline{\text{شد}}$$



وبناء على ذلك يحدث

$$ح \times ش د \times محيط ه اب = ر \times ش د \times \frac{ش ا}{ش ا} \times محيط ه اب$$

ونوجد هنا ايضا المساواة التي تكون دائما بقاينة على حالة واحدة بين كميتي تحرك القوة والمقاومة في تحرك الآلات المتواصل

ويكثر استعمال الآلة التي ذكرناها أ نفا في حرفة الخراطة ونستعمل ايضا في الحرف الهينة كسك السكاكين وكذلك في فن الغزل كالقرص الذي به يغزل الخيط

وفي ذلك القرص تكون قوة ح هي رجل الغازل المؤثرة في طرف المانوية بواسطة دواسة تتحرك عليها تلك القوة مرة واحدة في كل دورة

ويستعمل غالبا في الورش التي يحتاج فيها الى مجهودات عظيمة سيور عريضة عوضا عن الحبل غير المتناهي الذي يدير العجلتين وربما استعملت السلاسل عوضا عن الحبال

وقد تستعمل السلاسل المسننة التي تكون كلباتها الصغيرة منضجة الى بعضها بمحاور او بمسامير بارزة من الجهتين وداخله في ثقب مصنوعة في الطرفين المتنيين من القرص الذي لا يمكن تحريكه بدون السلسلة

ويمكن بواسطة الطارات المضرسة (شكل ١٢) عدم استعمال ما ذكر من الحبال والسيور والسلاسل وتحويل التحرك من طارة الى اخرى مباشرة لانه اذا قابلنا حيتندين طارقي  $ا ب ه$  و  $ا ر ه$  متى كانتا متحركتين بوتر  $ا ا ر ب$  (شكل ١٠) او كان لهما اضراس متعشقة ببعضها مباشرة (شكل ١٢) وجدنا في كلتا الحالتين ان كل نقطة من نقط  $ا ب ه$  و  $ا ر ه$  تتحرك بسرعة واحدة الا ان  $ا ب ه$  (شكل ١٢) يدور من الشمال الى اليمين و  $ا ر ه$  بالعكس اي من اليمين الى الشمال واما الطارات المفردة (شكل ١٠) فتدور في جهة واحدة

وحيث كانت نقطتا  $ا$  و  $ا$  (شكل ١٠) متحركتين السرعة فان نقطة  $ا$  تحدث على  $ا ب ه$  دورة كاملة حين تحدث  $ا$  على  $ا ر ه$

دورات بعدد مرات احتواء نصف قطر  $\overline{ا\theta}$  على نصف قطر  $\overline{ا\theta}$   
 فاذا تكون نسبة سرعة  $\overline{ا\theta}$  المزدوجة الى نسبة سرعة  $\overline{ا\theta}$  كنسبة  
 نصف قطر  $\overline{ا\theta}$  الى نصف قطر  $\overline{ا\theta}$

فاذا كان الحبل غير المتناهي في اتجاه  $\overline{ا\theta}$  عوضا عن ان يكون  
 في اتجاه  $\overline{ا\theta}$  (شكل ١٠) كانت النسب التي بين القوة والمقاومة  
 المعادلة لها واحدة عند حصول التوازن غير أنه يحصل اختلاف في حالة التحرك  
 حيث أنه بمقتضى الحالة الاولى تدور طارئا  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta}$  في جهة  
 واحدة وبمقتضى الحالة الثانية يدوران في جهتين متضادتين

وبوجب هذا التركيب يمكن تحصيل آلة مركبة تشبه آلة المنجنيق (شكل ١٣)  
 بان تثبت على محور واحد طارات كبيرة مضروسة وطاراات صغيرة مضروسة تعرف  
 بالتروس وهي  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta}$  الخ  
 فلاجل تساوي مقدارى قوة  $\overline{ا\theta}$  ومقاومة  $\overline{ا\theta}$  يجعل  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta}$  على  
 الجهدين الواقعين على نقط مختلفة من قط التعتيق تحصل هذه المعادلات وهي

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

فاذا يحدد بقطع النظر عن المضارب التي يجمع بعضها بعضا  $\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$   
 $\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$   
 وعلى ذلك تكون نسبة القوة الى المقاومة كنسبة حاصل انصاف اقطار سائر  
 الطارات الصغيرة الى نسبة حاصل انصاف اقطار سائر الطارات الكبيرة

فاذا اوقفنا على قطعة تعتيق الطارتين (شكل ١٤) قوة من المتجهة

الى جهة تحرك شاه وقوة  $\overline{\text{ن}}$  المتجهة الى جهة المقاومة الواقعة  
على الطارة الثانية وهى شاه  $\overline{\text{لزم}}$  لاجل حصول التوازن أن تكون  
هاتان القوتان متساويتين بالبداية

ولتكن قوة  $\overline{\text{ح}}$  مؤثرة على  $\overline{\text{اه}}$  فى طرف ذراع رافعة  $\overline{\text{شد}}$  ومقاومة  
 $\overline{\text{ر}}$  مؤثرة على  $\overline{\text{اه}}$  فى طرف ذراع رافعة  $\overline{\text{شء}}$  فيحدث

$$\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شء}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\text{فاذن يكون } \overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{شء}} \times \overline{\text{ر}}$$

فعلى ذلك يعلم أولا أنه حيث كان  $\overline{\text{شد}}$  و  $\overline{\text{شء}}$  معلومين فكلما كان

$$\overline{\text{شو}} \text{ صغيرا كبر } \overline{\text{ر}} = \overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} \times \overline{\text{شء}}$$
 وثانيا حيث كان  $\overline{\text{شد}}$

و  $\overline{\text{شء}}$  ملازمين لحالة واحدة فان  $\overline{\text{ح}}$  و  $\overline{\text{ر}}$  يكونان على نسبة منعكسة  
عن نسبة  $\overline{\text{شء}}$  و  $\overline{\text{شء}}$  اللذين هما نصفا قطرى الطارتين المضرسيتين  
فبناء على ذلك اذا كانت الاولى ضعف الثانية او ثلاثة امثالها او اربعة امثالها  
كانت مقاومة  $\overline{\text{ر}}$  المعادلة لقوة  $\overline{\text{ح}}$  ايضا ضعف هذه القوة او ثلاثة امثالها  
او اربعة امثالها

وهناك آلة تنسب الطارات المضرسية وهى عجلة العربات

وليس الأجسام الطبيعية منتهية بسطوح مصقولة صقلا تاما وانما هى  
منتهية بسطوح خشنة متضرسية بضاريس بارزة كثيرا وقليل لانه اذا رصدت  
الأجسام المصقولة صقلا تاما بالمكربسكوب (وهى النظارة المعظمة) وجدت  
بها تضاريس بارزة وبآثار هذه التضاريس يتعين تحرك عجلات العربة

وذلك ان العجلة اذا كانت مصقولة صقلا جيدا وكانت الارض اقلية فان  
العجلة حين تجذبها القوة الافقية تمس الارض دائما بدون أن يعرض لها ادى  
مقاومة الا أنه بالتناقل تعشق اضراس العجلة بضاريس الارض فتقف العجلة

وتجبر على الدوران ثانيا حيث انه يعرض لها في كل وقت مقاومة جديدة لعدم  
جزأ من سرعتها حتى تقف عن الدوران بالكلية ما لم تتجدد القوة المعدومة  
وقد شوهد في عدة اماكن من بلاد الانكليز سكك من الحديد مضرسة  
تدحرج عليها عربات ذات عجلات مضرسة ايضا وكلاهما شاهد واضح على  
ما اسلفناه من أن السطوح المصقولة كثيرا او قليلا وكذلك السكك المسطحة  
والعجلات الاعتيادية لا يتخلو عن الحرسنة

فاذا فرضنا أن العجلات المضرسة اسطوانية او مخروطية وان محاورها بناء على  
ذلك متوازية او متباعدة عن بعضها فان نسبة القوة للمقاومة ليست دائما  
عين نسبة لبعاد النقطة التي تناس فيها الانحراس مع الاسهم المتناظرة التي  
تصل القوة بالمقاومة

ثم ان صناعة العجلات المضرسة هي من ادق الصناعات وذلك انها تستلزم  
مراعاة القواعد الهندسية المضبوطة المتعلقة بتقسيم الدائرة (راجع خواص  
الاسطوانات في الدرس الثالث والثامن من الجزء الاول وكذلك خواص  
المخروط في الدرس الرابع عشر منه)

فاذا كان المطلوب صناعة عجلات ذات قطر كبير لزم مزيد الالتفات الى القواعد  
الهندسية في صناعة الانحراس لانهم امن الامور المهمة ولا بد ايضا أن تكون  
العجلات دائرة على وجه بحيث تنطبق نقط الضرسين التماسين على بعضها  
كانطبق على العربة على الارض بدون أن تتزحلق احدهما وتحتك على  
الآخرى حتى يكون سيرها على وفق المرام من سرعة او بطي

وهناك مؤلفات في علم الميكانيكا تشتمل على حل مثل هذه المسائل حللا تاما  
فن اراد ذلك فعليه بها (منها رسالة الالات للمهندس هاشيت وهي  
رسالة جلية نافعة)

وعوضا عن استعمال عدد قليل من الانحراس الكبيرة البارزة القصيرة كما كان  
ذلك سابقا استصوب استعمال عدد كثير منها وجعلها قليلة البروز  
والعرض طويلة عن المقدمة ليكون لها صلابة كافية فيسهل حينئذ رسم صورة

الاضراس ويكفي في ذلك أن يكون جانبها على صورة مستطيل زواياه البارزة منفردة قليلا وتكون مستديرة استدارة خفيفة في الواجهتين العموديتين على محيط العجلة وهذه الآلة عند تحركها في مبدء الامر تبرى الاجزاء البارزة جدا وان لم يزد ذلك في النظريات لكنها بالاستعمال تصير مستحسنة لطيفة واغلب صناعات الآلات والساعات الكبيرة يسلكون هذا المسلك في طاراتهم المضرة الاعيادية غير أن استدارة هذه الطارات تكون تامة فيستعمل صناعات الساعات الكبيرة طارات لاضراسها صور متنوعة ومتباينة بالكيفية منها ما هو على شكل محيط اسطوانة (شكل ١٧) وطرارات الخبز او المنع (شكل ١٦) (وهي آلات تدور الى جهة وتمنع الدوران الى اخرى) انمراس مستنثة ومائلة الى ذراع الرافعة الذي يمنع العجلة عن الرجوع والتأخر واذا حصل عند التأخر والرجوع ضرر كبير او خطر في التحرك المستدير لزم المبادرة الى آلة المنع ما لم يستعمل لذلك الحاجز المسمى بالزامم الآتى ذكره في الدرس الثالث عشر المتعلق بالاحتكاك

وفي الغالب يستعمل التركيب الآتى وهو أن احدى الطارات المضرة تستبدل باسطوانة مضرة منيرة تعرف بالفانوس (شكل ١٥) وتتركب هذه الاسطوانة من عدة قضبان مستديرة ومحاورها على بعد واحد من بعضها وتكون على محيط مستدير ويكون في المسطحين المصنوعين على شكل دائرة ثقب مربع يعرف بالعاشق يدخل فيها اطراف القضبان المربعة المعروفة بالمعشوق وحيث ان الفانوس المذكور ليس الا طارة مضرة فان نسبة القوة للمقاومة تقوم بمقتضى القاعدة المطردة التي سبق توضيحها

والكريك وهي نوع من المنجنون (شكل ١٨) آلة يكون محور طارتها المضرة وهو **ا ب** تابا واما قضيبها المستقيم المضرس وهو **هـ ف** فانه يكون متحركا بواسطة العجلة

ويوجد في الكريك البسيطة مانويلة كمانويلة **ث ب** تتحرك بها

طارة آ المضرس المتعشقة بقضيب هـ ف المضرس وفي هذه الآلة  
تكون نسبة القوة الى المقاومة هي  $\frac{ح}{ر} = \frac{ثب}{ثأ}$  وترى في هذا

التساوى أن  $\frac{ثب}{ثأ}$  هي نسبة المسافتين المقطوعتين في زمن واحد بالقوة

...

والمقاومة

واما الكريك المركبة (شكل ١٩) فلها مائوية تؤثر على الترس الصغير الاول  
المتعشق بالجملة التي على محورها ترس صغير ثان متعشق مباشرة بقضيب الكريك  
ويجعل  $\overline{د}$  و  $\overline{ك}$  رمزين الى نصفي قطري المائوية والجملة و  $\overline{ز}$  و  $\overline{س}$   
رمزين الى نصفي قطري الترسين المذكورين يحدث معنا في هذه الحالة الجديدة  
شرط التوازن وهو

$$\overline{ح} \times \overline{د} \times \overline{ز} = \overline{ر} \times \overline{س} \times \overline{ك}$$

مثلا اذا كان  $\overline{د}$  ثلاثة امثال  $\overline{ز}$  و  $\overline{ك}$  ثلاثة امثال  $\overline{س}$  تحصل معنا  
 $\overline{ح} \times 3 = 1 \times 1 \times \overline{ر}$  او  $9 \times \overline{ح} = \overline{ر}$  فاذا تكون قوة  $\overline{ح}$   
موازنة لقوة اكبر منها ٩ مرات واما في الابعاد التي يقع فيها القضيب المضرس  
مباشرة على الترس الصغير الاول فان قوة  $\overline{ح}$  لا تكون موازنة للقوة اكبر منها  
٣ مرات غير انه اذا اريد تحصيل التحرك يلزم أن قوة  $\overline{ح}$  تقطع ٩ مرات  
مقدار من المسافة اكثر من المقاومة

### \* (الدرس الحادى عشر) \*

في بيان التوازن على المستويات الثابتة والمستويات المائلة وسكك الحديد  
الى مستوياتها مائلة

قد اعتبرنا فيما تقدم نقطة ثابتة في توازن الرافعة ومستقيما والمحور انابتا في توازن  
قرص البكرة والمنجنون وماشا كلهما ولنبحث الان عن توازن القوة المؤثرة  
على مستو ثابت بفرض هذا المستوى مصقولا صقلا جيدا فنقول

لكيلا يحصل ادنى تحرك من قوة  $\overline{ح}$  (شكل ١٠) الدافعة لنقطة  $\overline{ث}$  المادية على مستوى  $\overline{أب}$  الثابت يلزم أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى المذكور

فإذا كانت القوة المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإن النقطة المادية لا تتحرك في جهة أكثر من أخرى مضادة لها بل تبقى ساكنة حيث أن كل شيء يصير ممائلا في اتجاه القوة وفي شكل المستوى المعبر في سائر الجهات وإذا كانت قوة  $\overline{ح}$  المذكورة مائلة (شكل ٢) أمكن حلها إلى قوتين أحدهما وهي  $\overline{ش}$  متجهة على المستوى المتقدم والآخرى وهي  $\overline{ش}$  عمودية على هذا المستوى وحيث أن تأثير هذه القوة الأخيرة منعدم بالمستوى المذكور لم يبق إلا القوة  $\overline{ش}$  وحدها فتؤثر في اتجاه  $\overline{ش}$  ولا يحصل لها ادنى مقاومة وبذلك لا يمكن حصول التوازن

ولنفرض الآن أن هناك عدة مامن القوى مثل  $\overline{ش}$  و  $\overline{ش}$  و  $\overline{ش}$  الخ (شكل ٣) كلها دافعة لنقطة  $\overline{ث}$  المادية على مستوى  $\overline{أب}$  فيلزم جعل كل قوة منها في طرف الأخرى بدون أن يتغير اتجاهها ثم يغلط مضلع القوى بمسئمتين آخريدل مقدارا واتجاها على محصلة هذه القوى فيثبت لا يحصل التوازن (شكل ٣) إلا في الصورة التي تكون فيها  $\overline{ش}$  أعني محصلة سائر القوى المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإذا لم يحصل التوازن فإن نقطة  $\overline{ث}$  المادية (شكل ٤) تتحرك على طول المستوى الثابت كما لو كانت مدفوعة بقوة  $\overline{ش}$  المنفردة المساوية لمسطح محصلة  $\overline{ش}$  على المستوى الثابت

ولنفرض بدلا عن النقطة المادية جسم  $\overline{ش}$  (شكل ٥) المدفوع على المستوى الثابت بقوة  $\overline{ح}$  فيلزم أن يكون اتجاه  $\overline{ح}$  مارا بنقطة  $\overline{ث}$  متى كانت هذه النقطة وحدها مشتركة بين المستوى والجسم لأنه إذا فرضنا أن قوة  $\overline{ح}$  تمر بنقطة أخرى من خط المستوى الثابت كنقطة  $\overline{ث}$

واقعا هذه القوة في نقطة الجسم وهي  $\overline{ك}$  القريبة بالكلية من المستوى  
الثابت على  $\overline{ح}$  لم يكن هناك مانع يمنع قوة  $\overline{ح}$  من دفع نقطة  $\overline{ك}$   
حتى تماس المستوى فتجذب حيثئذ جسم  $\overline{ث}$  فكله فاذن لا يحصل  
التوازن

ولابد أن تكون قوة  $\overline{ح}$  دائما عمودية على المستوى الثابت حتى  
لا تنحل الى قوتين احدهما عمودية بعدمها المستوى والثانية متجهة الى  
جهة ذلك المستوى من غير أن يعارضها شيء

فاذا اثرت عدة قوى في الجسم لزم أن تمر محصلتها بنقطة  $\overline{ث}$  وأن تكون  
دائما عمودية على المستوى الثابت ليبقى الجسم متوازنا دائما .

فاذا فرضنا الآن أن الجسم يمس المستوى في نقطتي  $\overline{آ}$  و  $\overline{ب}$  (شكل ٦)  
لزم أن تكون المحصلة الكلية لسائر القوى المؤثرة في الجسم منجذبة الى قوتين  
تزان بالنقطتين المذكورتين .

وبالجملة فليكن  $\overline{ر ر}$  هو المسقط الرأسي (شكل ٦) لمحصلة سائر القوى

وليكن  $\overline{أ ب}$  و  $\overline{ش ش}$  المساط الاضيق لوضع نقطتي  $\overline{آ}$  و  $\overline{ب}$  الثابتين

ونقطة  $\overline{ر}$  التي تلاقى فيها المحصلة المستوى الثابت

فيمكن أن نبدأ أولا من  $\overline{ش ش}$  مستقيما  $\overline{ش ش ش}$  ونفعل

قوة  $\overline{ر ر}$  الى قوتين موازيتين لقوة  $\overline{ر ر}$  احدهما وهي  $\overline{ح}$  واقعة على

$\overline{ب}$  والاخرى وهي  $\overline{ب ح}$  واقعة على اى نقطة كانت مثل نقطة  $\overline{ث}$  من مستقيم

$\overline{ب ر ث}$  وحيث ان قوة  $\overline{ح}$  عمودية على المستوى الثابت ومارة بنقطة  $\overline{ب}$

التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى لا يمكن أن يتغير توازن المستوى فلم يبق

حيثئذ الا قوة  $\overline{ب ح}$  التي لا يدور بها الجسم الا اذا لم تكن نقطة  $\overline{ث}$  مشتركة بين

هذا الجسم والمستوى الثابت ما لم تكن نقطة  $\overline{ث}$  المذكورة موجودة



بين  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$  لأنها إذا كانت موجودة خلف واحدة منهما بما قبلت الجسم إلى تلك الجهة

ولنفرض جسما مستندا من قطعه الثلاثة وهي  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$  و  $\bar{C}$

(شكل ٧) على مستو ثابت ونصل بين تلك النقط الثلاث بمستقيمات

$\bar{A}\bar{B}$  و  $\bar{B}\bar{C}$  و  $\bar{A}\bar{C}$  فلاجل أن يكون الجسم الواقع عليه تأثير

قوة ما كقوة  $\bar{C}$  متوازنا يلزم أولا أن تكون هذه القوة عمودية على

المستوى الثابت وثانيا أن لا تكون النقطة التي تلاقى فيها تلك القوة

المستوى الثابت موضوعة خارج مثلث  $\bar{A}\bar{B}\bar{C}$  لأنه بدون ذلك لاشئ

يمنع القوة عن إيقاع الجسم من الجهة التي تكون هي موجودة فيها

فإذا كان للجسم المستند على المستوى الثابت عدة نقط بدلا عن نقط الارتكاز

الثلاث لزم أن نصل بين كل قطعتين منها بمستقيم بحيث يحدث من ذلك شكل

مضلع مغلق انفلاقا تاما خال عن الزاوية الداخلة فحينئذ تكون شروط

توازن الجسم المدفوع بالقوة هي أولا أن تكون هذه القوة عمودية على

المستوى الثابت وثانيا أن لا يكون اتجاهها الممتد إلى المستوى الثابت

خارجا عن المضلع المذكور

وإذا اعتبرنا تناقل الأجسام عند اقترانها ببعضها وعند حساب مواد الالات

كانت صور التوازن المتنوعة على غاية من الوضوح

وما ذكرناه في شأن الأجسام الموضوعة على المستويات يجري كله في الأجسام

الموضوعة على سطوح أياما كان شكلها سواء كانت تلك الأجسام مركبة من

أجزاء مستقيمة أو منحنية ويلزم دائما أن تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم

منحلة إلى قوى مارة بنقط الارتكاز وعمودية على السطح الثابت وكذلك يلزم

أن لا تكون هذه المحصلة مارة من خارج المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة

الحادث من المستقيمات الواصلة بين نقط الارتكاز

وفي القنون عمليات كثيرة تجارية على حسب تلك القواعد \* مثلا يلزم لاجل

توازن قلم النقش عند دفعه باليد على اى سطح كان أن يوجه عموديا على هذا  
السطح حتى لا يتزحلق وأن يكون دفع القوة في اتجاه رأسه الى سنه والواقع  
او تزحلق

فاذا كان الجسم مدفوعا على مستو ثابت وكان مستندا عليه باكثر من ثلاث  
نقط لزم أن نراجع في هذه المسئلة القواعد المقررة في شأن هذا الجسم وما مثله  
لنعلم القوانين التي يحصل بها تدارك الضغط الواقع من الجسم في كل نقطة من  
نقط تلاقيه مع المستوى الثابت

وذلك لان هنالك صورة شهيرة يتبين فيها مقدار هذا الضغط بلا واسطة وهى  
التي يتكون فيها من جميع نقط التماس على المستوى الثابت شكل منتظم  
وتكون فيها القوة الدافعة للجسم على ذلك المستوى متجهة الى جهة بحيث  
تمر بمركز هذا الشكل واذا فرضنا أن الجسم متماثل بالنسبة للمستويات التي تمر  
على التناظر بمحاوئ تماثل المضاع او الشكل المنتظم الحادث من نقط  
التماس كان الضغط الواقع على كل من هذه النقط واحدا فعلى ذلك يكون  
الضغط الواقع على كل جزء من اجزاء سطح التماس مساويا للقوة الدافعة للجسم  
على المستوى الثابت مقسومة على عدد هذه النقط

ويكثر في الفنون استعمال عدة عظيمة من الاجسام الموضوعة على المستويات  
الثابتة في نقط موضوعة وضعا مرتبا على حسب ما تقتضيه قواعد التماثل  
المذكورة آنفا

وقد يسند الانسان وغيره من الحيوانات ذوات الارجل ثقل اجسامهم على  
ارجلهم المتماثلة التي مستوى تماثلها هو عين مستوى الجسم فعلى ذلك يكون  
الضغط الواقع على كل رجل واحدا \* وفي الامور الصناعية يجعل لآعاب  
الاشياء المستعملة ثلاث نقط او اربع من نقط الارتكاز ويطلق على اجزاء الجسم  
التي تباشر الارض اسم الارجل لعلاقة المشابهة بينها وبين الارجل الحقيقية  
لانها في الغالب تكون على صورة رجل الانسان او غيره من الحيوانات  
وذوات الارجل الثلاث هي كاسمها آلة مركبة من ثلاث ارجل فاذا كانت

صورتها مستوية لشروط التماثل المتقدمة كان الضغط الحاصل لكل رجل على المستوى مساويا لثالث القوة التي تدفع ذات الرجل الثلاث دفعا عموديا على المستوى المذكور والتختات والاسرة لهما رجل اربع وهي مستوية لشروط التماثل المتقدمة وبناء على ذلك يقع على كل رجل من تلك الرجل الاربعة ربيع الضغط الواقع عموديا على المستوى الثابت باى قوة كنت وهناك اشياء تحمها مستويات ثابتة على خطوط متواصلة منتظمة في صورة ما اذا استوفى الجسم شروط التماثل يكون الضغط الواقع على جميع نقط هذه الخطوط واحدا وعليه فيكون الضغط الواقع على كل واحدة منها على نسبة منعكسة عن نسبة طولها الكلى

ويستعمل في القنن غالباً سطوح الدوران فتوضع على مستوى م ن الثابت (شكل ٨) وتكون مماسة لهذا المستوى على شكل دائرة

**ا ب ث** الموازية لها فاذا كانت القوة التي تضغط السطح على المستوى تضغط هذا السطح ايضا على محوره كان بالضرورة الضغط الواقع على جميع نقط دائرة التماس واحدا هذا ولم تنوع في بيان تطبيق هذه العمليات على الصناعة

ولنفرض أن جسم **ب ث ف** (شكل ٩) الموضوع على مستويين ثابتين كستوى **ا و ٢** يكون مماسا لهما في نقطتي **ب و ث** فلاحظ أن يكون هذا الجسم الواقع عليه تأثير قوة **ا ح** متوازنا يلزم بالضرورة أولا أن نحل هذه القوة الى قوتين متجهتين على حسب مستقيمي **ح م و ح ن** المارين بنقطتي الارتكاز وهما **ب و ث** وثانيا أن يكون **ح م** عمودا على مستوى **ا و ح ن** عمودا على مستوى **٢**

فاذا وفرت الشروط انعدمت قوة **ح م** بمستوى **ا** الثابت وقوة **ح ن** بمستوى **٢** الثابت وبذلك يحصل التوازن

ولا يمكن حصول التوازن فيما عدا ذلك لان المقاومة الحاصلة من كل مستو متجهة على العمود الواصل بين نقطتي ارتكاز الجسم على هذا المستوى فيلزم

اذن ان تكون المقاومتان المتجهتان بهذه المثابة موازيتين للقوة لكن لاجل توازن ثلاث قوى يلزم أن تكون من مبدأ الامر متقابلة في نقطة واحدة وعلى ذلك فلا بد في سائر احوال الجسم المدفوع بقوة على المستويين المتساويين له في نقطة واحدة من أن يكون المستقيم الذي تؤثر فيه هذه القوة والعمودان القائمان على كل من قط التماس مارة كلهما بنقطة واحدة وحيث نذكر في الضغط الواقع على كل مستو من متوازي الاضلاع الحادث من هذه الخطوط الثلاثة بأن يؤخذ على الاول منها وتر مساو للقوة

وفي صورة ما اذا كان الجسم مماسا لثلاثة مستويات في نقطة واحدة يلزم أن تكون القوة المذكورة دائما موازنة للقوى الواقعة في النقط المتقدمة على الخطوط العمودية على هذه المستويات والدالة على المقاومات المؤثرة في المستويات وليس يلزم أن تكون سائر اتجاهات المقاومات متقابلة في نقطة واحدة

ولنفرض جسم  $\overline{م ب}$  (شكل ١٠) الواقع عليه تأثير قوتين  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  اللتين يتقابلان في نقطة  $\overline{ا}$  ويكونان متوازيتين حول نقطة الارتكاز وهي  $\overline{ث}$  على مستوى  $\overline{س ص}$  الثابت ونفرض ايضا بدون أن يتغير وضع نقطة الارتكاز المذكورة أن وضع  $\overline{ث ا}$  مختلف قليلا بأن ندير  $\overline{ث ا}$  حول نقطة  $\overline{ث}$  فاذا مددنا عمودي  $\overline{ث د}$  و  $\overline{ث ه}$  على  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ا خ}$  امكن اعتبار  $\overline{د ه}$  كرافعة منكسرة وبموجب ما تقرر في شأن الرافعة تكون مسافة  $\overline{د ا}$  التي تقطعها نقطة  $\overline{د}$  ومسافة  $\overline{ه ا}$  التي تقطعها نقطة  $\overline{ه}$  عند اختلال الجسم قليلا مناسبين لقوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  المتقابلتين لهما بمعنى انه

يحدث  
 $\overline{ح} : \overline{خ} :: \overline{ه د} : \overline{د ا}$  ويحدث من ذلك  $\overline{ح} \times \overline{د ا} = \overline{خ} \times \overline{ه د}$   
 ويمكن في هذه الصورة استعمال قاعدة السرعة المتجهة

وحيث كانت جميع الاجسام مدفوعة دائما بقوة التناقل لزم أن تكون الاجسام  
الموضوعة على المستويات مستوفية للشروط السابقة حتى تبقى على توازنها  
فاذا فرضنا أن اى قوة تتحرك الجسم الموضوع على مستوئيات ولا تمسكه بحيث  
يبقى على توازنه لزم أن يكون هذا المستوى عمودا على اتجاه التناقل اعنى على  
الخط الرأسى

ويلزم حينئذ أن يكون هذا المستوى الثابت افقيا ليكون الجسم الموضوع  
عليه متوازنا من غير أن يكون هناك قوة تتحركه او تمسكه وهذا هو السبب فى كثرة  
استعمال المستويات الثابتة الافقية فى الفنون فمن ذلك تخشيبات المنازل  
الفرنجية المستعملة عندهم بدلا عن البلاط فانها تجعل افقية ليكون ما يوضع  
عليها من الامتعة متوازنا وكذلك الانسان فانه لا يتحرك ولا يسقط من  
جهة الى اخرى وبمثل هذا السبب جعلوا مستويات التختات والرفوف  
افقية ايضا

فاذا كانت محصلة ثقل الجسم مارة دائما بمركز ثقله لزم أن تكون مستوفية لجميع  
شروط التوازن ليكون الجسم المتكى لتناقله والموضوع على مستوئيات باقيا  
على توازنه

وينبج من ذلك أولا انه اذا كان الجسم الموضوع على المستوى لا يمس  
الا فى نقطة واحدة لزم أن يكون الخط الرأسى الممتد من هذه النقطة مارا بمركز  
ثقل هذا الجسم

وثانيا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى نقطتين يلزم أن يكون الخط  
الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم مارا بالمستقيم الواصل بين نقطتى تماس  
الجسم مع هذا المستوى الثابت

وثالثا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى اكثر من نقطتين يلزم أن  
الخط الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم لا يمس المستوى الثابت  
فى نقطة واحدة موضوعة خارج المضلع المتخالى عن الزوايا الداخلة للمحدث من  
المستقيمات التى يصل كل واحد منها بين نقطتين من نقط تلاقى الجسم مع المستوى

الثابت المذكور

ولنرجع الى موضوعنا وهو ما اذا كان الجسم مستندا على نقطة واحدة ومتوازنا فقول مما يسهل علينا مشاهدته أن كل جسم كروي مثل أ ب ث (شكل ١١) متجانس المادة تثبت له هذه الخاصية وهي أنه اذا وضع على مستواقي كان متوازنا فيه بالضرورة لان مركز ثقل هذا الجسم يتحد بمركز شكله ويكون كل نصف قطر مثل غ ح ث عمودا على مستوى م ن الافقي الذي يمر الكرة في نقطة ث فاذا كان يكون مستقيما غ ح ث العمودي على مستوى م ن الافقي رأسيا وحينئذ تكون قوة غ ح المكافئة لتأثير ثقل هذا الجسم على م ن مستوية لساير الشروط التي لا بد منها في التوازن

ولناخذ جسما مثل أ ب ث (شكل ١٢) له صورة كالمسحقة يكون حادثا من دوران قطع ناقص حول محوره الكبير فاذا وضع هذا الجسم على مستواقي بحيث يكون المحور الكبير وهو أ ب افقيا كان التوازن حاصلًا لان غ الذي هو مركز ثقل هذا الجسم المتجانس المادة فرضا يتحد بمركز شكله كما في الجسم الكروي ويكون خط ح غ ث الرأسى الممتد من المركز مارا بنقطة ث التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى الافقي ويحصل التوازن ايضا اذا وضع جسم أ ب ث على وجه بحيث يكون المحور الكبير وهو أ غ ب (شكل ١٣) رأسيا لان محصلة ثقل هذا الجسم اذا كانت مارة بمركز غ كانت مارة ايضا بنقطة أ

ولكن هنالك فرق ظاهر بين خالي التوازن وهو انه اذا تغير وضع هذا الجسم قليلا (شكل ١٢) فتحوّله فوراً حتى يصل الى الوضع الذي يحصل فيه التوازن واذا تغير وضع الجسم (شكل ١٣) قليلا تباعد عنه شيئاً فشيئاً حتى يسقط

وقد يكون التوازن الاول ثابتا والثاني غير ثابت ويكنى بالثابت وغير الثابت

عن القوة التي تقرب بها الاجسام او تبعد من اوضاع توازنها عند تحوّلها عن تلك الاوضاع

(ويمكن بواسطة ما سلفناه من النتائج حل هذه المسئلة وهي أن تقرر جسمين بجسمي أ ب ث و ا ر ث (شكل ١٦) توازنهما غير ثابت

وموضوعين على مستوى م ن بحيث يكون خطا ا غ و ا ح رأسيين والمطلوب تفصيل الشروط التي لابد منها في توازن هذين الجسمين المتحرّفين عن وضع توازنهما وان كانا مستنديين على بعضهما في نقطة ك فلاجل مزيد السهولة تقرر أن هذين الجسمين متساويان بالكلية وأن ميلهما واحد وليكن ح رمز الثقلهما

فيكون كل منهما ماسا لآخر على مستو رأسي ويحدث من كل منهما على الآخر ضغط واحد كضغط س = س وليكن الآن غ ه و غ ه هما الرأسيان النازلان من تقطعي غ و غ اللتين هما مركزا ثقل هذين الجسمين ولتكن ث و ث هما قسما تلاقيهما مع مستوى م ن فيكون مقدار ح بالنسبة الى جسم ب ث د هو ح × ث ه وبالنسبة الى جسم ر ث د هو ح × ث ه وهذان المقداران متساويان لكن حيث ان س و س هما كتابة عن الضغط الحاصل من كل من الجسمين على الآخر فاذا اخذنا من تقطعي الارتكاز وهما ث و ث عمودي ث س و ث س على هذين الجسمين حدث س × ث س = س × ث س وهو المقدار المتحصل من هذا الضغط

وحينئذ يلزم أن يتحصل في حالة التوازن

$$\text{ح} \times \text{ث ه} = \text{س} \times \text{ث س} = \text{ح} \times \text{ث ه} = \text{س} \times \text{ث س}$$

فاذا كانت الاجسام ثلاثة فان حل المسئلة يكون على الوجه السابق بأن نجعل مقدار ح × ث ه الذي هو مقدار كل جسم منها متوازنا مع

الضغط الحاصل من كل من الثلاثة على الآخرين  
ويحل العساكر هذه المسئلة بوجه آخر على ذلك انهم يضمنون ثلاث بنادق  
الى بعضهما فاذا توازن كل منها على  $\theta$  التي هي زاوية الكعب لم يكن توازنه  
ثابتا بخلاف ما اذا تقاطعت السبع بحيث يحصل من طرف كل منها ضغط  
على الآخرين فان التوازن يكون ثابتا وحساب الضغط الحاصل من كل  
بنادق على الآخرين ليكون التوازن حاصل في هذا الوضع هو على غاية من  
السهولة

ولنختبر قياس القوة التي توصل الجسم المقروض الى حالة التوازن او تبعده  
عنها بان نبدأ بالوضع الاول فنقول اذا فرض أن محور  $AB$  الكبير يعمل  
قليلا كلفي (شكل ١٤) بحيث لا يكون عماسا للمستوى الافقي في نقطة

$\theta$  وانما يكون عماسا في نقطة  $\delta$  فلا يكون حينئذ  $\theta$   $\delta$   
اتجاه محصلة ثقل الجسم بل يكون اتجاها هو  $\theta$   $\delta$

فاذا اثرث الآن قوة  $\theta$   $\delta$  في جسم  $AB$  وادارته حول  
نقطة الارتكاز وهي  $\delta$  بواسطة ذراع رافعة يساوي  $\delta$  فان المقدار

الذي به يتخفف ثقل الجسم جزء  $\theta$   $\delta$  ويرفع جزء  $\theta$   $\delta$   
يساوي  $\theta$   $\delta$   $\times$   $\delta$  لكن حيث كان  $\theta$  الذي هو ثقل الجسم باقيا على  
حالة واحدة فكلما تباعد الجسم المذكور عن الوضع الاصلى كبر  $\delta$  وكلما كبر  
مقدار  $\theta$   $\delta$   $\times$   $\delta$  فان الجسم حينئذ يعود مع الشدة الى وضعه الاصلى فاذا  
خلى نفسه وصل بطبعه الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا وهذا التوازن  
هو المعروف بالتوازن الثابت

فاذا اتينا مستقيم  $\theta$   $\delta$  و الرأسى حتى يصل الى مستقيم  $\theta$   $\delta$   
الذي هو رأسى في وضع التوازن ثم مدنا خط  $\theta$   $\delta$  الافقي حدث  $\delta$   
 $\theta$   $\delta$   $\times$   $\delta$  فعلى ذلك يكون  $\theta$   $\delta$  مساويا للمقدار الذي  
ياخذه الجسم وضعه الاصلى واذا فرضنا أن زاوية  $\theta$   $\delta$  صغيرة



جدا يمكن أن نعتبر أن  $\overline{غ غ}$  مساو للقسوس المرسوم بنصف القطر وهـ

$\overline{و غ}$  بين  $\overline{و غ ث}$  و  $\overline{و غ د}$  من نقطة و المعتبرة مركزا  
ثمان نقطة و هي التي تعرف عند المهندسين بنقطة مركز انتصاب الجسم  
بجسم  $\overline{ا ث ب}$  فعلى ذلك اذا كان التوازن ثابتا كان مركز الانتصاب  
فوق مركز الثقل دائما وفي صورة ما اذا كان لميل الخط الرأسى الحديد وهو  
 $\overline{و د}$  على الخط الرأسى الاصلى وهو  $\overline{و ث}$  درجة ثابتة يكون قوس

$\overline{غ غ}$  مناسباً لنصف القطر فاذا كان  $\overline{و غ ح}$  يكون مقدار  $\overline{غ غ} \times \overline{و غ ح}$   
مناسبا ايضا لنصف قطر  $\overline{و غ و}$  ومساويا لبعده مركز الثقل ولر مركز الانتصاب  
وحينئذ يؤخذ من هذا البعد قياس ثبات الاجسام

ولنتكلم على الوضع الثانى فنقول اذا فرضنا انه بعد وضع جسم  $\overline{ا ث ب}$   
على  $\overline{ا}$  التي هي طرف محوره الاكبر انحراف عن وضع توازنه قليلا كما في  
(شكل ١٥) الذى فيه نقطة  $\overline{د}$  الجديدة هي نقطة تلاقي الجسم مع

المستوى الافقى فاذا مددنا خط  $\overline{و غ د}$  الرأسى فانه يقع خارج تقطعي

$\overline{ا و د}$  ويحدث معنا لقياس القوة التي بها يجذب ثقل  $\overline{و ح}$  الجسم

حتى يسقط هذا المقدار وهو  $\overline{و ح} \times \overline{د د} = \overline{و ح} \times \overline{غ غ}$

وفي هذه الصورة كالتى قبلها اذا كانت زاوية  $\overline{و غ و غ}$  صغيرة جدا السكن

أن نعتبر أن  $\overline{و غ غ}$  قوس مركزه نقطة و فيكون حينئذ نصف قطر

$\overline{و غ}$  مناسباً لبعده  $\overline{و غ غ} = \overline{د د}$  بالنظر لميل محور  $\overline{ا ث ب}$

بالنسبة للخط الرأسى

ونقطة و المعروفة بمركز الانتصاب في هذه الصورة تكون تحت مركز الثقل

لا فوقه

وبالجملة فبعدها عن مركز الثقل يستعمل لقياس عدم ثبات الاجسام الثابتة

كما استعمل في الصورة السابقة (شكل ١٤) في قياس ثبات جسم

$\overline{ا ث ب}$  الموضوع على مستوى  $\overline{م ن}$

فاذا اتحد مركز الانتصاب وهو  $و$  بمركز الثقل وهو  $غ$  لزم اتحاد خطي  $ود$  و  $غ$  و  $د$  الرأسين ببعضهما الا انه في هذه الصورة يكون الخط الرأسى المار بمركز الثقل المذكور مارا ايضا بنقطة الارتكاز وهي  $د$  وينعدم بعد  $د$  وعليه فيكون مقدار  $ح$   $\times$   $د$   $=$   $٠$  فاذن لا يكون هناك جهد يتحرك به الجسم فيبقى متوازنا

وبالجمله ففى اتحاد مركز الانتصاب بمركز الثقل كان التوازن باقيا على حاله بعد انحراف الجسم ويسمى التوازن في هذه الحالة بالتوازن الموافق فاذا كان مركز الانتصاب فوق مركز الثقل فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يعود الى وضعه الاول فيكون التوازن حينئذ ثابتا واما اذا كان تحتها فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يبعد عن هذا الوضع شيئا فشيئا ويكون التوازن حينئذ غير ثابت

وفي جميع هذه الاحوال يكون قياس الثبات او غير الثبات معلوما من حاصل ضرب ثقل الجسم في بعد مركز الثقل عن مركز الانتصاب المعتبر هنا مركز الانحناء قوس  $آ$  المرسوم على الجسم بين  $آ$  و  $د$

وبذلك تكون خواص ثبات الاجسام المتحركة على المستويات الثابتة من قبيل خواص انحناء السطوح (كما تقدم في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول) واذا كان الاندما من نقطة ثابتة كان انحناء الجسم متماثلا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان ثبات الجسم على مستواقي متماثلا ايضا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان احدهما من الاتجاهين هو اتجاه الثبات الاكبر والاخر اتجاه الثبات الاصغر وكان الثباتان المتوسطان متساويين متى كانا مأخوذين بالنسبة لمحورين اقصيين ويتحدث بينهما وبين اتجاه الثبات الاكبر زاويتان مساويتان للزاويتين الواقعتين بينهما وبين اتجاه الثبات الاصغر وهما جرا

ويؤخذ من هذه المسئلة النظرية المتعلقة بثبات الاجسام المتحركة قليلا عن وضع توازنها تطبيقات مهمة تتعلق بمعيشة الاهالى ورتبتهم وشرف الدولة

وقوة شوكتها من ذلك السفن التي يمكن توازنها ثابتا على البحر فانها تسير  
امنة لاجل جلب ادوات الصناعة او الذب عن الوطن بخلاف ما اذا كان  
توازنها غير ثابت فانها ربما اقلبت وصار عاليها سافلها وغاصت في قاع البحر  
بين فيها من الملاحين والعساكر ولنظرية ثبات السفن مزيد تعلق بالقواعد  
التي ذكرناها آتفا غير أن كمالها يتوقف على قواعد اخرى مبنية على قوة السوائل  
(راجع بحث القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب)

ولما انهن الكلام على توازن الجسم فوق المستوى الافقي وجب أن نشرح  
في الكلام على توازنه فوق المستوى المائل المعروف في اصطلاحهم بالمستوى  
الذي ليس افقيا ولا رأسيا فنقول

يقاس ميل هذا المستوى بالزاوية الحادثة منه مع المستوى الافقي وبموجب  
الهندسة (كما في الدرس السابع من الجزء الاول) يتوصل الى قياس تلك  
الزاوية الحادثة من المستويين المذكورين بقياس الزاوية الحادثة من خطين  
مستقيمين احدهما على المستوى الافقي والثاني على المستوى المائل وكلاهما  
يمتد من نقطة واحدة امتدادا عموديا على تقاطع المستويين

ولنجعل خط مرن الافقي كناية عن المستوى الافقي (شكل ١٧)  
ومستقيم اث كناية عن المستوى المائل وهذان الخطان يحدث عنهما  
زاوية ماثلة للزاوية الحادثة بين المستويين المذكورين

ولنضع جسما ايا كان بجسم س على ث فان لم يكن هنالك قوة جانبية  
تمسكه امكن حل ثقله وهو غ ح الى قوتي غ خ و غ ح اللتين  
احدهما موازية للمستوى المائل والاخرى عمودية عليه وبعدم تأثير القوة  
الثانية اذا لم يقع عمود غ ح خارج المضلع الحادث من وصل نقط التماس  
بعضها بواسطة خطوط مستقيمة فيمكن حينئذ أن يطبق على تلك القوة سائر  
ما ذكر في شأن التوازن الثابت وغير الثابت والموافق المتعلق بالاجسام المستندة  
على المستويات الافقية

واما قوة  $\overline{غ\ ح}$  فحيث انها مؤثرة بالتوازي لمستوى  $\overline{ث\ أ}$  لا يحصل لها مقاومة مامن هذا المستوى فان لم تكن هناك قوة اجنبية تعارضها زحلت الجسم على طول المستوى المائل  
ثم ان نسبة المسافة التي يقطعها هذا الجسم على المستوى الى المسافة التي كان يقطعها في زمن واحد عند سقوطه بلا معارض على  $\overline{غ\ ح}$  كنسبة قوة  $\overline{غ\ ح}$  الجاذبة للجسم بالتوازي لمستوى  $\overline{ث\ أ}$  الى قوة  $\overline{غ\ ح}$  الجاذبة له جذبا رأسيا

واما ان تحرك الجسم بواسطة قوة  $\overline{غ\ ح}$  او كان ممسكا بقوة  $\overline{غ\ ح}$  المساوية لها والجاذبة له في جهة مقابلة لجهتها فانه متى اريد حصول التوازن يلزم ان يكون عمود  $\overline{غ\ ح}$  واقعا على النقطة التي يكون فيها الجسم مماسا لمستوى  $\overline{ث\ أ}$  المائل اذا لم يكن هناك الانقطة تماس واحدة فاذا كان هناك عدة نقط لازم أن يقع ذلك العمود في الموضع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من وصل كل نقطتين من النقط التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى المائل وهذه القضية النظرية لها فائدة عظيمة في تطبيقها على ثبات العربات الساكنة او المتحركة

واذا كان جسم بجسم  $\overline{غ\ ح}$  (شكل ١٨) متوازنا على مستوى  $\overline{ث\ أ}$  المائل بواسطة قوة واحدة كقوة  $\overline{غ\ ح}$  الموازية لهذا المستوى لزم أولا عند تحليل  $\overline{غ\ ح}$  الذي هو ثقل الجسم الى قوة  $\overline{غ\ ح}$  و  $\overline{غ\ ح}$  أن قوة  $\overline{غ\ ح}$  المؤثرة بالفرض في  $\overline{ث\ أ}$  تأثرا عموديا تجعل ذلك الجسم المجرد عن التثاقل بالفرض متوازنا على  $\overline{ث\ أ}$  وثانيا أن قوة  $\overline{غ\ ح}$  تمر بمركز الثقل وهو  $\overline{غ}$  فيحدث اذن هذا التناسب وهو

$$\text{قوة } \overline{خ} : \text{قوة } \overline{ح} :: \overline{غ\ ح} : \overline{غ\ ح}$$

فاذا مددنا  $\overline{ن\ و}$  عمودا على مستوى  $\overline{م\ ن}$  الافقي كان مثلثا  $\overline{ان\ و}$  و  $\overline{ح\ غ\ ح}$  متشابهين ويحدث من ذلك هذا التناسب وهو

$$\overline{او} : \overline{ن و} :: \overline{غ ح} : \overline{غ ز} = \overline{غ خ}$$

اعنى أن نسبة نقل الجسم الى قوة  $\overline{غ خ}$  الموازنة له كنسبة  $\overline{او}$  الذى هو طول المستوى المائل الى  $\overline{ن و}$  الذى هو ارتفاعه

واذا كانت قوة  $\overline{غ خ}$  (شكل ١٩) اقلية لزم أن تكون  $\overline{غ ح}$  التى هى محصلة قوتى  $\overline{غ خ}$  و  $\overline{ع ح}$  مارة بنقطة  $\overline{ح}$  التى بماس الجسم فيها المستوى فيحدث من ذلك هذا التناسب وهو  $\overline{غ ح} : \overline{غ خ} = \overline{ع ح} :: \overline{م ن} : \overline{ن و}$  اعنى أن نسبة نقل الجسم الى القوة الموازنة له تكون كنسبة قاعدة المستوى المائل الى ارتفاعه وهذه القضايا السهلة يكثر استعمالها فى علم الميكانيكا

ولنضم هذا الدرس بنبرة مختصرة ملخصة من رحلاتنا الى ابريطانيا الكبرى تتعلق بالقوة التجارية والطرق السلطانية اتينا فيها بالابد منه فى سكك الحديد ذات الاخاديد والمستويات المائلة المستعملة فى ابريطانيا الكبرى لانه لا مانع من ان هذه السكك والمستويات المائلة تكون عظيمة الحدودى فى المعامل المعدة للصناعة بمملكة فرنسا فنقول

ان صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد منحصرة فى صورتين متباينتين تباينا كلياً احدهما أن يكون النقل حاصل على اتجاه واحد والثانية أن يكون على اتجاهين متقابلين

واسهل فى الصورة الاولى أن ترفع الاحمال المعدة للنقل رفعا رأسيا بواسطة الآلات حتى تصل الى رأس السكة المائلة وهو رأس لا يتجاوز العربات بل تأخذ فى الهبوط عند الوصول اليه

فاذا كان المطلوب هبوطها لاجل توصيل احوالها الى التهرات او الخلبان او السكك الكبيرة سواء كانت المسافة كبيرة ارض صغيرة فانه بواسطة السكك المطروقة ذات الاخاديد يسهل النقل مع حصول الفائدة \* والكيفية الناجحة فى ذلك أن يعطى ما يلزم من الاخشاب للتجارة وللعمارات الداخلية التى تكون

في الاماكن المرتفعة البعيدة جدًا عن التهر حتى يتأتى بواسطة السكك ذات  
الاخاديد من غير احتياج الى كثرة الرياح الطيبة وصول تلك الاخشاب الى  
الخليجان وعمومها فيها وهذا من الاغراض المهمة جدًا في القوة والتجارة  
البحريتين وفي كثير من فروع الصناعة الفرنجية

ثم ان اتفق الانحدارات واكثرها ملائمة للسكك ذات الاخاديد هو ما لا يمنع  
العربات الموسوقة من اخذ تحرك منتظم بواسطة تأثيراتها الاخرى فاذا سار  
الفرس في هذا الانحدار وكان يجز قطاراً من العربات لم يحتاج في ذلك الا الى  
القوة اللازمة للظفر بان يرسى الجسمات التي يتقلها وبالموانع الصغيرة التي تحدث  
عما يكون في مسكة الحديد من الخشونة والتضاريس الهينة الخفيفة

وينبغي أن يكون عدد العربات الموسوقة التي يجزها الفرس مساوياً لعدد  
العربات الكثيرة القارعة التي يصعد بها على تلك السكة وعلى ذلك فكلما كبر  
ميل السكة قل هبوط الفرس بالعربات في كل مرة من سيره ويؤخذ من ذلك  
أن هنالك انحداراً اتفق مما عدها من سائر الانحدارات وهو ما استعملت فيه  
قوة الفرس كلها صعداً و هبوطاً بدون تلف شيء وكلما ثقلت العربات الموسوقة  
لزم أن يكون الميل الذي يتبدئ فيه بالهبوط بنفسها قليلاً وأن يكون عدد  
العربات القارعة التي يصعد بها الفرس الى هذا الميل كثيراً وحينئذ فاستعمال  
العربات الكبيرة في هذه الصورة أكثر نفعاً واتم فائدة كعربات ضواحي مدينة  
نو كاستل التي كل واحدة منها تحمل ٢٠٥٠ كيلو غرام ويزن ثقلها ١٥٠٠

كيلو غرام فهي اولى من عربات ضواحي مدينة جلاسغوف التي لا تحمل كل  
واحدة منها الا ٦٠٠ كيلو غرام ولا يزن ثقلها الا ٣٠٠ كيلو غرام

وصندوق هذه العربات (اي عربات نو كاستل) على شكل هرم ناقص مربع  
مخوف ومكشوف من اعلاه وهرض قاعدته السفلى ٦ د ١ وطولها ٢  
وطول قاعدته العليا من ٨ د ٢ الى ٣ وعرض كل ضلع من اضلاعه

المائلة على الافق بقدر ٤٥° تقريباً يبلغ ٦ ر ١ ويوجد في عمق العربية طاقة معدة لتفريغ وسقها وهي موضوعة في طرف العربية المقابل للسفن التي يراد وسقها وعليها قدمان من الحديد لاجل سدها بدوران بواسطة لولب وينزلان على الواجهة المائلة التي تكون في مقدم العربية فيستبان هناك برزتين او مسمارين معوجين فاذا اردنا غلق تلك الطاقة ادخلنا شوجية صغيرة في حلقتي الرزتين فاذا اخر جناها وخلصنا قدمي الحديد انفتحت بسبب تأثير وسقها وهبط ذلك الوسق بين عجلات الاربع

وهناك طاقات في مقدم العربية ومؤخرها معدة لربط حبل الشد بها اذا اريد ذلك وقطر عجلات حديد الصب يبلغ ٦ او ٧ دسيترات وعرضها الافقي ١٥ او ١٦ سنتيمتراً وبها انشاء داخل دائماً في سكة الحديد وعرض السكة ١٤ او ١٥ دسيتراً

ولنذكر الآن جملة من خواص السكة ذات الاخداب النسيمة التي توصل الى شواطئ نهر الوار بقرب سوند رلند فنقول

ان معدن الفحم الذي هو مبدأ تلك البسكة بعيد عن المكان الذي ينزل منه الى السفن بقدر ١٠ كيلومتر تقريباً ولا يوجد في سائر امتداد هذه الارض التي تقطعها العربية انحدارات عظيمة وانما كان هناك تلال تعارض العربات قليلاً فاحدثوا بها مسلكاً لاجل المرور وهذه السكة توصل الى ساحل منحدر يكسها نهر الوار بواسطة جسر افقي متمجه الى الطبقة الاولى من مخزن متسع مبني في اعلى هذا الساحل وطول هذا المخزن تقريباً ٥٠ وعرضه من ٢٥

الى ٣٠ ويزيد ارتفاعه عن الاستواء المتوسط من مياه النهر باربعين متراً فأكبر وهو مركب من ثلاثة اجزاء طولية متفرقة عن بعضها بصفين من الاعمدة وكل من سطوح الطبقة الاولى الثلاثة يتصل به سكة من الحديد وكل سطح منها ممتد من اول المخزن الى آخره وابواب المخزن على بعد واحد من بعضها مفتوحة

بين مساند الحديد الموجودة بهذه السكة فإذا اتت العربات موسوقة بالمعدن  
دخات في الطبقة الاولى منه ثم تذهب الى المسطحات المستديرة المنعطفة التي  
كل مركز من مراكزها على سكة من سكت الحديد الثلاثة شمال ميل خفيفا نحو  
الربع على تلك المسطحات المستديرة ثم يجزها العربجي على السكت الطولية من  
هذه الطبقة حتى تصير مسامتة لاحد الابواب لاجل تفرغ الفهم المطلوب  
في اى مكان من الارض وكل جزء من الاجزاء الثلاثة الطولية من تلك الارض  
محتوى على سكة جديدة من الحديد مبدؤها اول المخزن ونهايتها نهر الوار ومن  
هذه السكت الثلاثة سكان يجتمعان عند انفصالهما عن المخزن ويصيران سكة  
واحدة وبعد ذلك يختلطان بالثالثة ويصير الجميع سكة واحدة ثم تقسم هذه  
السكة الى فرعين يختلطان ببعضهما قبل اتهاهما وبعد ان فصل العربات  
الموسوقة الى مبدأ الانحدار تمر على قنطرة يبلغ اتفراجها مائة متر وهى  
مؤسسة على مجرى عميق ثم تجتاز صخرة يبلغ امتدادها اربعين مترا تقريبا  
وسكة الحديد في ذلك كله مركبة من قضبان مسجرة فى عدة اخشاب كالشبايك  
طولها عشرون مترا

والقنطرة المذكورة متخذة من الخشب ومؤسسة كما تقدم على المجرى وجامعة  
بين الصلابه والخفة وهى كابة عن صوارمغروسة فى الارض غرسا رأسيا ومن  
عوارض ومساند مائلة لتكون صلبة متينة وسطحها مركب من قطع طولية  
مغطاة باخشاب السفن القديمة الغير المستعملة

فإذا كانت احدى العربات ماعدة والاخرى هابطة تلاقيا فى منتصف السكة  
وهذا اذا لم يكن هناك الا سكة واحدة واما اذا كان هناك سكان فان احدهما  
تسلق سكة غير التى تسلكها الاخرى حتى لا يتعارضا ثم تسلك كل واحدة منهما  
السكة التى تركتها الاخرى

ويتخلل المسافة التى بين السكتين ملفات محورها الافقى غمود على اتجاه السكة  
وبهذه الملفات جبل معد لحفظ العربات عند الهبوط واشدها عند الصعود  
وفى اسفل الطريق نصل العربات الى سطح فوق المكان الذى تكون به السفن



المطلوب وسقها فحما وبمنتصف سكة الحديد ثلاث فرجات وهي اقواء اقعام  
من حديد مائلة بقدر ٤٥° تقريبا

والجزء الاسفل من القمع يتحرك حول لولب افقي يضمه الى الجزء الاعلى منه  
واما اثنا آت الجزء المتحرك فهي متعشقة باثنا آت الجزء الثابت وبذلك  
لا يسقط القمع الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال ولا جل غلق الجزء الثابت من  
القمع يستعمل خارج رأسي فيرفع او ينخفض اذا اريد ذلك بتأثير الرافعة وذلك  
انه يوجد في كل من طرفي القمع عيارات تؤثر من اعلى دربرين من الخشب  
قريب من سمت الخارج واما الحبل المعد لحفظ كل عيار فهو ملتف على اسطوانة  
منجنون موضوع على الدربرين به يرتفع الجزء المتحرك من القمع او ينخفض  
وبهذه الكيفية يوضع دائما الطرف الاسفل من الجزء المتحرك على بعد ملائم  
للفرجة التي يوسق منها السفن سواء ارتفعت السفينة بالمدا وانخفضت بالجزر

(بيان المستويات المائلة)\*

تطلق هذه المستويات على اجزاء السكة ذات الانحدار العظيم المحتاج الى اعانة  
الآلات لاجل صعود العربات او هبوطها وصناعة هذه المستويات مشابهة  
لصناعة الاجزاء الاخرى من سلك الحديد ذات الاحاديد

ولذلك هنا طريقة ميكانيكية يعرف بها صعود العربات على المستويات  
المائلة الموجودة بضواحي مدينة نو كاستل بيلاد انكلتره فنقول

يوجد في اعلى المستوى المائل مكان صغير من كبر من حائطين احدهما عن يمين  
السكة والاخرى عن شمالها وعليهما سقف وفي داخلهما تحت هذا السقف طارة  
كبيرة من الخشب افقية موضوعة على شواح متعزضة وبها حلق ملتف عليه  
حبل ليس مفرط في الطول بل بقدر المسافة التي تقطعها العربة الموسوقة عند  
هبوطها ويوجد تحت هذا الحبل على محيط الطارة الخارج المعروف بالزمام وهو  
اقرب شها بزمام طواحين القطن الذي يمكن للانسان وحده أن يحركه بواسطة  
رافعة وهذا الخارج مربوط على ارتفاع لائق بسلاسل رأسية معلقة بشواحي  
المكان المذكور ومضى وصلت العربة الموسوقة الى مبدأ الانحدار وجد العربة

هذه العربى فارغة قريبة منه جذاً فيفلح حيثند طرف جبل الشد الذي  
كان اعده لصعود هذه العربى الفارغة ثم يقوت الجمالة التى بهذا الطرف من يد  
الحديد الثابتة خلف العربى الموسوقة المطلوب هبوطها

وقبل تتييم هذه الاعمال تأتى عربى فارغة من المحل الذى هو مبدأ السير الى  
اسفل الانحدار فيجبد العربى هذا العربى موسوقة فيفكها ويربط بها فرسه  
ثم يربط جبل الشد فى العربى الفارغة ويسير

فاذا انتضى هذا العمل دفع العربى بيده عربته الموسوقة فتأخذ فى الهبوط  
على الانحدار فعند ذلك يصعد فوراً مع النشاط على احدى جهات هذه العربى  
قابضاً على الرفاعة المجمعولة زماماً لاحدى العجلات ويوجد فى اصغر اطراف  
هذه الرفاعة قوس دائرة من الخشب نصف قطره كنصف قطر العجلة التى يمتكن  
عليها هذا القوس عند ارادة بطى سير العربى ومنع مرعتها فاذا وصل العربى  
الى اسفل الانحدار نادى باعلى صوته الوقوف الوقوف فعند ذلك يتحرك المنوط  
بالزمام الاكبر هذا الزمام تحت المكان المتقدم ذكره ويجرى ذلك فى كل عربتين  
احداهما فارغة والاخرى موسوقة

وعلى ما ذكرناه من القواعد يلزم أن القوس المعد لجذب العربات على سكة الحديد  
يبدل جميع قوته عند صعود عدة عربات فان كانت صورة الارض تقتضى  
تغير الانحدارات وتوقعها لزم أن تعمل على وجه بحيث يكون ملائماً لهذه  
العدة وعلى ذلك فلا بد أن تكون سكة الحديد ذات الاخاذيد مركبة من خطوط  
مستقيمة يتألف منها مضلع مستو او من خطوط منحنية متحدة الانحدار  
فى جميع طولها وحيداً يمكن بواسطة التجارب الصحيحة أن تعين درجات الميل  
المتنوعة التى يلزم أن يكون السير بحسبها

ولا جمل عدم ضياع الزمن بلا فائدة فى ربط الخليل وحملها يلزم أن يكون لكل فرع  
ثابت الانحدار من سكة الحديد طول يكفى فى تغيير الخليل ولا بد أن يكون عدد  
الخليل المعدة للنقل على نسبة منعكسة من عدد العربات الفارغة التى تصعد هى  
بها ومن الزمن التى تستغرقه مدة التغيير المذكور فى حالتى الذهاب والاياب فهذه

الكيفية تقطع العربات المتعددة جميع فروع السكة في وقت واحد ولا تحتاج  
الخليل ولا العريجية الى التآني السابق او اللاحق  
ويلازم مزيد الاهتمام وفرط الاعتناء في عمل سكة الحديد بحيث لا يحصل عند  
الصعود عليها هبوط الا اذا كان المحل يقتضى ذلك وطريق اجتناب هذا  
الهبوط الحاصل عند الصعود أن تقيم في الوديان الضيقة العميقة تخشيبات  
صلبة خفيفة على شكل القناطر الحقيقية ويصنع على سطحها الافقي سكة الحديد  
ذات الاحاديد

ويسهل عمل تلك السكك على قناطر معلقة بسلاسل من حديد  
(وقد ذكر المهندس استوانسون ان المجارى الضيقة العميقة المتقاطعة فيما يصنعها  
من سكك الحديد يمكن اجتيازها بواسطة مربع من الخشب توضع عليه العربات  
فيسير بها الى جهة الامام بواسطة البكرات على طول المستوى المائل المركب  
من سلاسل او قضبان من الحديد ممتدة من احد شاطئى المجرى الى الآخر)  
واذا كانت الارض مرتفعة قليلا فانه يمكن عند اقتضاء الحال عمل سكك اقفية  
او احداث اما كن لتغيير الخليل يكون انحدارها ثابتا وذلك اما بواسطة الحفر  
والردم بطريق مضبوطة لاجل اختصار طول الطريق واما بواسطة عمل  
انعطافات وتعاريج كثيرة يتحقق فيها شرط التصرف الاصغر في عمل السكة  
لتعلم فائدة النقل قبل حصوله ويجرى في هذه الصورة القواعد المقررة في غيرها  
من سائر انواع السكك

وهناك صورة تخص سكك الحديد ذات الاحاديد المعدة للنقل في اتجاه واحد دائما  
وهي انه بواسطة المستوى المائل يمكن رفع الاحمال فوراً الى الارتفاع المطلوب  
الذي يعقبه هبوطها الى المحل المراد وصولها اليه على اقصر انحدار  
فاذا كانت كمية النقل السككية واحدة في الذهاب والاياب لزم عمل الانحدارات  
على وجه بحيث تكون مساعدة للجهتين ويشترط في ذلك شرط لا بد من تحقيقه  
هنا وهو أن تخفض النقط العليا وتلطف المستويات المائلة من غير أن يكون  
ذلك سببا في طول سكة الحديد طولاً مفرطاً ولا في كثرة المصاريف وقد جرت

العادة بعمل سكتين متجاورتين من ذوات الاخايد احدهما للذهاب  
والاخرى للاياب

ولنشرع الآن في الكلام على صناعة سكك الحديد ذات الاخايد فنقول انها  
تقسم باعتبار اخايدها الى قسمين احدهما الترام وى او البلاوى وهو  
ما تكون فيه الاخايد مسطحة ومركبة من قضبان من حديد الصلب اى الزهر  
وفوقها انشاء بارز على طولها من خارج وتحتها حرف بارز يكسب القضيب قوة  
كافية لحمل ثقل عجل العربات من غير أن يعرض له كسر وذلك أن هذه العجلات  
الاسطوانية تقف على الاخدود والقسم الثانى الادج وى وهو ما تكون  
فيه الاخايد مجوفة ومركبة من قضبان متلاصقة غليظة ومستديرة من  
اعلاها لانه يوجد في عجلات العربات حلق كحلق البكر يشد به القضيب  
من طرفه المستدير فاما الاخايد المسطحة فينشأ عنها مضرة عظيمة وهى ازدياد  
الاحتكاك لزيادة مفرطة عند ملاقة الارض لان ما يتعلق بالعجلة من التراب  
والرمل والحصى يتساقط ويقف في الاخدود المسطح واما الاخايد المجوفة  
فلا توجد فيها هذه المضرة فهى لعدم المانع قابله لحمل الاثقال الكبيرة ومقدمة  
على غيرها في الاشغال الجسيمة وعليها جرى العمل في بلاد غالة واما في ضواحي  
مدينة نو كاستل فيستعمل فيها المسطحة كالمجوفة وقضبان الاخايد المجوفة  
تتخذ من الحديد المطرق وعرض كل قضيب ٤ ستمتر وسمكه الرأسى الذى هو  
اكبر من العرض دائما يكون مناسباً لوضع عليه من الاحمال وليست فائدة  
الاخايد المجوفة هو مجرد تقليل الاحتكاك بل يضاف الى ذلك ايضا مقاومتها  
للاحمال العظيمة وليس ذلك موجودا في المسطحة نظراً لصورتها ولكون موادها  
اقرب للتلف من الاولى

وقد ذكر المهندسون استوانسون ان السكة ذات الاخايد المجوفة التى تحمل  
عربة بـ ١٠٠٠٠ كغراما عن كل متر من  
الاخدود المزروج بعد انقضاء عمله ويكفى ايضا ما دون ذلك غير أن السكة  
السلطانية يلزم أن تكون صلبة اخايدها بقدر الحاجة حتى لا تحتاج الى ترميم

يؤدى الى زيادة اجرة العملة عن مقدارها الاول

ويكنى على ما ذكره المهندس غلواس أن يكون طول كل قضيب من قضبان  
الاخاديد المسطحة ٢٠ ر<sup>م</sup> وأن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من  
٤٠ كيلو غراما الى ٥٠ ويكنى ايضا في السكك ذات الاخاديد المجوفة  
المعدة لسير العربات الكبيرة أن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من ٤٠  
كيلو غراما الى ٥٠ واما في المسطحة المعدة للنقل في عربات صغيرة تجرها  
الخيول فيكنى أن تكون زنتهما مع المسندين ٢٥ كيلو غراما ويكنى ١٨  
فيما اذا كانت تلك العربات يجرها العربية

(وما ذكره هذا المهندس في تحديد طول القضبان يختلف باختلاف الاماكن  
وانواع النقل وقد ذكر ايضا في رسالته المشحونة بالفوائد التي اتفقها في سكك  
الحديد ما يفيد أن طول كل قضيب من قضبان سكك الحديد المجوفة ٨٩  
سنترا وعرضه ٣٣ ملترا وأن تلك القضبان تمر بعوارض من الخشب  
او حديد الزهر ثابتة او محمولة على بسطات من البناء وأن طول كل قضيب من  
قضبان السكك المسطحة ٢ ر<sup>م</sup> وعرضه ٨ ر<sup>م</sup> في الجزء الذي يجرى  
عليه العجلة وسكن هذا الجزء يساوى ١٥ ر<sup>م</sup> وارتفاع الانشاء ٥٤ ر<sup>م</sup>  
وسكنه المتوسط ١٠ ر<sup>م</sup>)

ثم ان احكام وضع هذه الاخاديد ومناطاتها مما لا بد منه في السكك ذات الاخاديد  
اذ يدون احكام وضعها ووراء محالها ينشأ عن الجهد الواقع عليها من عجلات  
العربات الموسوقة أن بعض المسانيد يغوص فيها بمقدار ٢ سنترا فقط فيكون  
انحدار احد قضبان الاخدود في هذه الحالة بمقدار واحد من سنتين فيلزم حينئذ  
لاجل جر العربات حيث تكون السكة اقلية تضييف القوة المستعملة

وقد كانت سكك الحديد ذات الاخاديد سابقا خالية عن الثمرة الحقيقية مع أنها  
كانت قابلة لأن يحصل عنها كثير من الفوائد وذلك لان هذا النوع من السكك

كان متجاوزا الحد في الصعوبة (فان طبيعة الارض ورخاوتها عمالة تأثير عظيم في صلابة هذه السكة) فقد صرفت مبالغ جسيمة في عمل مساند من الحجارة اللينة مع انها اذا وضعت على سطح الارض تكون عرضة لتنوع الحرارة والرطوبة

فلاجل جبر هذا الخلل اقتضى الحال أن تسند الاخاديد بالواح غليظة من الحديد الصب اي الزهر وتسمى اطراف اجزاء هذه الاخاديد على اطراف تلك الالواح والظاهر أن منافع استعمال الحديد الزهر دون منافع استعمال الحديد المطرق فان الاخاديد المتخذة من الحديد المطرق ليست كالاخاديد المتخذة من الحديد الزهر في كونها عرضة للكسر عند ثوب العربية وملاقاتها لحصاة او حجر صغير يكون على الاخدود وقد شوهد منذ أكثر من ثمان سنوات سكة من الحديد المطرق معدة لاشغال تيد القيل باقليم كبرلند وشوهد بها ايضا سكان من الحديد الزهر فكانت الاولى حسنة الاستعمال من جميع الوجوه وكانت في المصاريف دون السكتين الاخرين وقد جربوا مثل ذلك في ايقوسيا غير مرة فكانت النتيجة واحدة

وهانحن نبين عرض السكة المزروجة ذات الاخاديد على مقتضى ما حسبه المهندس استوانسون في بعض مؤلفاته فنقول

الفرجة التي بين الاخدودين من ١ ٣ الى ٢ ٦

المسافة التي بين السكتين ٢ ٦

جوانب المسالك الضيقة والمجاري والدروات وغير ذلك من ١ ٥ الى ٢ ٣

فيكون مجموع ذلك ٧ ١

ويمكن بواسطة وضع الاسامى من الحجارة الصغيرة وسترها بالحصى عمل فرجة بين كل اخدودين واما السكة الضيقة المعدة للعربية فيمكن تثبيتها بالحصى او رغوة المعادن او بالثعم المعدنى او نحو ذلك على حسب طبيعة الاماكن

وهنا النوع ثالث من سكك الحديد وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة بدون  
 اثناء ولا بروز في بعض اجزائها وملصوقة بمنتصف السكة الاعتيادية  
 او المبلطة فوق سطح تلك السكة ومثل هذا النوع لا يلائم الاحمال المستديرة  
 من الحارات والازقة وغيرها من طرق المدينة السلطانية التي تتلاقى فيها  
 العربات على اختلاف انواعها وعظمتها في اتجاهات مختلفة وقد استعملت  
 هذه السكك ذات الاخاديد بمدينة غلاسغوف في المستوى الاعظم ميلا  
 الذي يوصل الى حوض خليج فورت اكليد على ميناء دونداس  
 وهذا المستوى يمكن أن تصعد عليه القرمس الجيدة بنحو ثلاثة براميل وأن تنجز  
 عليه في مدة النهار نحو برميل ونصف

وقد اشتهر استعمال ما ذكرناه من الاخاديد المسطحة في السكك الكبيرة لاسيما  
 في المستويات العظيمة الميل ولا بد في استعمالها من تغيير الخيل عند الوصول  
 الى تلك المستويات او تفريغ شئ من العربات لاجل عبور الجسور حتى  
 يسهل النقل عليها كالسكة الافقية الاعتيادية

وترى في شكل ٢٠ الرموز اليه بهذه الاحرف وهي (ا) (ب) (ث)  
 حازر اموضوعا بهذا اثنا آت اخذود الحديد وتجد في شكل ٢١ سكة  
 مزدوجة ذات اخاديد مع عجلات العربات ومحاورها وفي شكل ٢٢ سكة  
 مزدوجة ذات اخاديد تقطعها سكة اخرى

### \*(الدرس الثاني عشر)\*

في بيان البريمة والالتواء والحبال والخابور وساير الآلات

التي من هذا القبيل

ينبغي لمن اراد أن يعرف هذا الدرس حق المعرفة أن يراجع الدرس الثاني عشر  
 من الهندسة في الجزء الاول من هذا الكتاب لتعلقه بالخطوط والسطوح  
 الحزونية

ولابد أن نورد هنا على وجه الاجمال ما للخطوط والسطوح من الخواص  
 الهندسية تذكرها المسبق فنقول ان الخط البرمجي او الحزبون الاسطوانى

هو كتابة عن خط منح مرسوم على محيط اسطوانة بحيث يحدث عنه في جميع امتداده مع اضلاع الاسطوانة زاوية واحدة فاذا كانت الاسطوانة موضوعة على وجه بحيث تكون اضلاعها رأسية حدث عن الخط البرمبي في جميع امتداده مع احد اضلاع الاسطوانة لرأسية زاوية واحدة ثابتة الميل

فاذا فرضنا أن هناك خطا مستقيما له ميل ثابت ويتحول على طول الخط البرمبي ويحدث عنه مع هذا الخط المنحني زاوية واحدة دائما فانه يحدث عنه سطح حلزوني ويكون المستوى المماس لهذا السطح الحلزوني ما تلا بالنسبة للرأس في سائر نقط الخط البرمبي

واذا اريد هبوط جسم او صعوده على طول الخط البرمبي فانه يارتكاز هذا الجسم على السطح الحلزوني يتحرك كتحرك في طول المستوى المائل على خط مستقيم ميله كميل الخط البرمبي وهذا المستوى في الميل كغيره من المستويات المماس للسطح الحلزوني

وليكن أم وـ (شكل ١) كتابة عن انفراد الاسطوانة التي تصنع عليها بريمة مثلثية (شكل ٢) او مربعة (شكل ٣) فينفرد كل دور من الخيوط (شكل ١) على خط مستقيم طوله وهو  $\overline{ب ب} = \overline{ث ث}$   
 $\overline{د د} = \overline{الخ ثابت}$

فاذا كان جسم من الاجسام الثقيلة عرضة للصعود والهبوط على احد هذه الخطوط كخط م م مثلا وكان ذلك الجسم متوازنا بواسطة قوة افقية كقوة ح حدث هذا التناسب وهو نسبة قوة ح الى ثقل الجسم كنسبة م و الذي هو ارتفاع خطوة البريمة الى نسبة م و الذي يساوي محيط الاسطوانة المرسوم عليها خيط البريمة

وحيث تقررت هذه المبادئ وجب أن نشرع في الكلام على كيفية استعمال البريمة فنقول ان البريمة توضع في بينها البرمبي الذي يوجد في داخله ما يوجد فيهما من الاسطوانة والخيوط فتارة ثبت في البيت المذكور طارة ذات مماسك



التدويرية كما تدور طارة المنجنون وتارة يثبت فيه رافعة او اكثر يكون لها شبيه  
بقضبان المنجنون والمعطاف

وكانوا سابقا يكتفون بمجعل رأس بيت البريمة مربعا ويعشقونه ببعضه بواسطة  
مفتاح تجويفه مربع كجوف البيت لاجل ادارته الى احدى الجهتين  
(اي جهتي اليمين والشمال)

وهناك بريعات ويوت تدور الى جهة اليمين (شكل ٢ و ٣)  
(كما سبق في الدرس الثاني عشر من الهندسة) وهي اكثر استعمالا من غيرها  
ويوجد ايضا بريعات ويوت تدور الى جهة الشمال فلا يمكن تعشيق  
بريمة دائرة الى جهة بيت بريمة دائرية اخرى تقابلها

وتم نوعان من البريمات ويوتها احدهما بيت البريمة الثابت الوضع وهو  
ما تقدم فيه البريمة تارة وتأتاخر اخرى بدورانها في ذلك البيت الذي لا يتقدم  
ولا يتأخر لثباته وتكون القوة حيث تد ثابتة في احد طرفي البريمة وهذا الطرف  
الذي جرت العادة بجعله مربعا يسمى رأس البريمة

وثانيهما البريمة الثابتة الوضع وهو ما تكون فيه البريمة مجبورة على الدوران  
بدون تقدم ولا تأخر وانما بيتها هو الذي يتحرك بطولها  
وفي هذين النوعين تكون القوة والمقاومة الموازنة لها على نسبة منعكسة من  
المسافتين اللتين تقطعهما هاتان القوتان في زمن واحد كما في توازن المستوى  
المائل الذي ينسب اليه توازن البريمة

ولكن اذا دارت القوة دورا كاملا حول المحور فانها تقطع محيطا نصف قطره هو  
بعد المحور عن هذه القوة وحيث ان المقاومة مؤثرة بالتوازي للمحور فانها  
تقطع في زمن واحد خطوة بريمة فاذا كانت القوة مضروبة في المحيط الذي  
تقطعه حول محور البريمة مساوية للمقاومة مضروبة في خطوة البريمة  
وعلى ذلك كلما كانت خطوة البريمة صغيرة وكان ذراع الرافعة الذي تؤثر القوة  
في نهايته طويلا يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة  
فاذا لم تكن البريمات ويوتها محكمة الصناعة لزم أن يكون في بعض اجزائها

فراغ بين البريمة وبينها وأن تطوى أو تفرد الخيوط المجتوعة في البعض الآخر لاجل حصول التخلل فيلزم أن تكون الآلات المستعملة لصناعة البريمات من حيث صورها وتحرّكها على غاية من الضبط والاحكام  
 وإذا وقع على البريمة جهد قوة لاجل ابطال مقاومة حدث من هذا التأثير عليها وعلى بينها نوعان

فالنوع الاول منهما يالغ خيوط البريمة بواسطة قوة الضغط الحاصل بالتوازي للمعور وهي قوة مساوية للمقاومة الحادثة من البريمة سواء كان ذلك في حالة الدفع او في حالة الجذب وهذه القوة تحمل الى عدة اجزاء يمكن اعتبارها كنقط تماس بين البريمة وبينها وجزء المقاومة المنقول الى كل من هذه النقط يكون على نسبة منعكسة من سطح الخيوط المعلوم مقدارها في صورها إذا كان عموديا على المحور وهذا السطح مناسب لبروز الخيوط في سائر طولها إلا أن هذا البروز لا يمكن زيادته بدون أن تكون الخيوط عرضة للكسر بادنى اصطدام فان كان جانب هذه الخيوط مثلثا فاللائق عادة أن يكون من المثلثات المتساوية الاضلاع وان كان مستطيلا لزم أن يكون عرض كل خيط بقدر ممكن بمعنى انه يكون مربعا ثم ان نوعي البريمات السابقين يمتازان عن بعضهما بكون خيوط البريمة في النوع الاول مثلثة (شكل ٢) وفي الثاني مربعة (شكل ٣)

وتصنع البريمات من الخشب اذا كان كل من المجهودات الواقعة عليها والمقاومات التي تظهر بها تلك المجهودات متوسطا بين الشدة والضعف غير أنه ينبغي لذلك انتخاب نوع من الخشب كالقيس والزان وخشب الكمثرى مما تكون اجزائه متعددة الاتحادا كافيا في سائر طولها ومثل هذه البريمات يسهل اشلال اطرافها وذلك ضرر عظيم لا يقع في البريمات المصنوعة من المعادن  
 وللبريعات المعدنية منفعة عظيمة وهي قابليتها لأن تحمل اى مقاومة كانت مع صغر حجمها

هذا ويشق علينا أن نورد في استعمال الآلات جميع عمليات البريمة على وجه التفصيل وانما نقول ان الغرض الاصلى منها احداث الضغط الشديد

كافي البريمة التي يستعملها مجلد الكتب لضغط اوراقها وكذلك البريمات الرافعة فان الغرض الاصلى منها ايضا هو احداث الضغط المذكور ويوت هذه البريمات ثابتة وممتدة على شكل الهرم الناقص المربع الذي تكون قاعدته على الارض واما البريمات فهي متحركة بذراع او ذراعين من الرافعة (راجع شكل ٤)

واذا كان المطلوب تضم جسمين صليين الى بعضهما والصاقهما الصاقا تاما لم تهمهما بمسار او نحوه (شكل ٥) مما يكون له رأس بارز لاجل الامساك وبعض ادوار من خيوط البريمة وهو المسمار المعروف بالقولوز فاذا ادخلنا المسمار في الثقب تقدم من الجسمين المطلوب ضمهما وصار بمنزلة البريمة التي في داخل بيتها ثم يغلق هذا البيت بفتح مربع شبيه بالفتح الذي تقدم ذكره في هذا الدرس ويمكن بهذه الكيفية ضم عدة عظيمة من قطع الاخشاب المهمة سواء كانت من اخشاب الاشغال البرية او البحرية وثمرات خيوطها مرنة منفصلة عن بعضها كبعض يابات العربات المعروفة بيابات القبض (انظر الدرس الرابع والخامس عشر)

ولامانع من أن نعتبر البريمة كاسطوانة مخرسة معدة لايصال الحركة الى الطارات المخرسة وهو ما يعرف بالبريمة غير المتناهية وتستعمل هذه البريمة في كثير من الآلات كالآلة المعدة لتحريك السفود وربما التبتست بالمنجنون والمعطاف وما شاكلهما

ويمكن ضم البريمة الى الطارة المخرسة ولصقها بها بواسطة التمشيق كافي شكل ٦ وبهذه الواسطة تنتقل الحركة من محور ر الموازي لمستوى المسقط الى محور آخر عمودي على هذا المستوى تدل عليه نقطة و

ولتكن ف هي القوة الواقعة على ما نؤيلة ش ح في طرف ذراع رافعة ش و ف هي القوة المنقولة بالبريمة غير المتناهية من م الى الطارة المخرسة التي نصف قطرها يساوي م و ر هي المقاومة المؤثرة في طرف ذراع رافعة و د يحدث

أولاً  $F = \frac{\text{محيط مقطوع بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times F \text{ وثانيًا } = \frac{2}{5} \times F$

فأذن يكون  $R = \frac{2}{5} \times \frac{\text{محيط مقطوع بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times F$

ومن هذا التساوي تؤخذ النسبة بين القوة والمقاومة

والنوع الثاني من نوعي التأثير الواقع على البريمة وبينها من القوة والمقاومة هو ما يحدث عنه التواء البريمة وبينها ولاجل الوقوف على حقيقته نفرض عدة منشورات متساوية كالإلياف النباتية التي يتركب من مجموعها شجرة اسطوانية ونفرض أن المطلوب التواء هذه الاسطوانة فنوقع على نهايتها قوتين  $F$  و  $F$  (شكل ٧) العموديتين على اتجاه الإلياف والمدايرتين في جهتين متقابلتين فإذا لم تكن الاسطوانة صلبة جداً وحيث كان لا يوجد في الإلياف صلابة تامة فإنه يقع عليها تأثيرها تين القوتين فتدور إحدى قاعدتيها من اليمين إلى الشمال والآخرى بالعكس ونفرض أيضاً أن مقاومة الاسطوانة المذكورة واحدة في جميع طولها وزيادته على ذلك نفرض عدة قطاعات متنوعة بحاصلة من مستويات موازية للقاعدتين وأنها على بعد واحد من بعضها فيكون دوران القطاع الأول بالنسبة للثاني في زاوية يكون فيها دوران الثاني بالنسبة للثالث والثالث بالنسبة للرابع وهكذا وعلى ذلك فالنقط التي يتكون منها في مبدأ الأمر ليف قائم على كل قاعدة يتكون منها أيضاً خط حلزوني بواسطة ما يكون للقوتين المؤثرتين في جهتين متقابلتين من التأثير الواقع على قط مختلفة من طول الشجرة الاسطوانية ويعرف هذا التعاكس بالتواء

فإذا لم تكن الإلياف متلاصقة بل ترحلت عن بعضها أو كان لا يمكنها إلا الاحتكاك كان التواء الاسطوانة المتكونة من مجموع الإلياف كالتواء الذي يحدث في صناعة الحبال

فإن قيل ما مقدار المقاومة التي تعرض للالتواء من الاسطوانات المختلفة انظر التجانس المأداة فالجواب أننا نفرض حل هذه المسئلة اسطوانتين

رفيعتين جدًا متساويتين في الرفع والاولى أن يقال متحدتين في السمك الصغير جدًا ومختلفتين في القطر مع اتحادهما في الطول ونوقع عليهما في مستوى قواعدهما قوى عماسة لهما تدبرهما الى جهات متضادة فيحصل بذلك التواءهما ويلزم اتحاد القوة في زاوية واحدة من الزوايا الحادثة من التواء الالياف المتجهة على اضلاع الاسطوانتين ليحصل الالتواء في الالياف التي حجمها واحد ويكون عدد تلك الالياف مناسباً المحيط للقواعد فيلزم اذن استعمال القوى المناسبة لمحيط القواعد وانصاف اقطار الاسطوانتين ليحصل التواء هاتين الاسطوانتين المجهوتين الرفيعتين جدًا بحيث لا يحدث عن اليافهما واتجاهاتهما الاصلية الا زاوية واحدة

فاذا فرضنا عمودا اسطوانيا غير مجوف وتوهما انه مقسوم الى اسطوانات مجوفة متحدة السمك والمركز فرضنا أن التواءها واحد بحيث تكون كل نقطة من نقطتها الموجودة في القطاع العمودي على المحور باقية على وضعها الاصلى سهل عليك بعد حصول الالتواء أن تعزف أن الزاوية الحادثة من الالياف مع اتجاهاتها الاصلية مناسبة لبعدها هذه الالياف عن المحور وبهذا الالتواء يحدث عن كل ليف لاجل حل التواءه جهد مناسب لنصف قطر الاسطوانة المحتوية على هذا الليف وهذا الجهد ناشئ عنه بالنسبة للمعور بواسطة ذراع رافعة مساو لنصف القطر المذكور فبناء على ذلك تكون القوة التي يلزم استعمالها في التواء كل ليف مناسبة لمربع بعدها عن المحور وينتج من ذلك أن القوة الكلية التي يلزم أن يكون للاسطوانات بهادرجة من الالتواء مأخوذة وحدة تكون مناسبة لمجموع مقادير اينرسي قواعدهما بالنسبة للمعور بمعنى انها تكون مناسبة لمسطح قاعدة الاسطوانة مضروبا في مربع نصف القطر فاذا كانت انصاف الاقطار هي

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	الح
١	١٦	٨١	٢٥٦	٦٢٥	١٢٩٦	٢٤٠١	٤٠٩٦	٦٥٦٣	١٠٠٠٠	الح

دالة على نسبة القوى التي بها يمكن بحصول درجة واحدة من الالتواء

لاسطوانات

لاستوانات متنوعة لها طول معلوم بين القوى التي تؤثر فيها لاجل التواءها  
 وإذا فرضنا استوائتين مختلفتين في نصفي قطريهما الرموز اليهما برمزي  
 $\overline{R}$  و  $\overline{r}$  (شكل ٨ و ٩) وواقعاً على أحدهما قوتا  $\overline{F}$  و  $\overline{f}$   
 المتساويتان وعلى الأخرى قوتا  $\overline{M}$  و  $\overline{m}$  المتساويتان أيضاً لاجل  
 حصول الالتواء فيهما بحيث أن بعدى هاتين القوتين وهما  $\overline{M}$  و  $\overline{m}$   
 متساويان حين يكون

$\overline{F} : \overline{f} :: \text{مسطح } \overline{M} \text{ ضد } \overline{r} : \text{مسطح } \overline{m} \text{ من } \overline{R}$   
 تكون زاوية الالتواء وهما  $\overline{M}$  و  $\overline{m}$  متساويتان لان  $\overline{R}$  و  $\overline{r}$   
 هما مركزا القاعدتين فاذن يحدث هذا التناسب وهو  
 $\overline{M} : \overline{m} :: \overline{R} : \overline{r}$

فإذا جعلنا  $\overline{M} = \overline{m}$  ولوينا الاستوانة الغليظة حتى نوصل إيف  
 $\overline{X}$  من الى  $\overline{X}$  حدث من هذا الليف مع اتجاهه الأصلي وهو  $\overline{M}$   
 الزاوية التي تحدث من إيف  $\overline{X}$  مع اتجاهه الأصلي وهو  $\overline{m}$  ولتكن  
 $\overline{F}$  هي القوة التي لا بد منها في التواء الاستوانة الكبيرة على اتجاه  $\overline{X}$   
 فيتحصل هذا التناسب وهو

$\overline{F} : \overline{F} :: \overline{M} : \overline{m} :: \overline{R} : \overline{r}$  ويؤخذ من ذلك أن  
 $\overline{F} = \overline{F} \times \frac{\overline{r}}{\overline{R}}$

ولكن  $\overline{F} = \overline{F} \times \frac{\text{مسطح } \overline{m} \text{ من } \overline{R}}{\text{مسطح } \overline{M} \text{ ضد } \overline{r}}$

فاذن يكون  $\overline{F} = \overline{F} \times \frac{\text{مسطح } \overline{m} \text{ من } \overline{R}}{\text{مسطح } \overline{M} \text{ ضد } \overline{r}}$

فإذا كان ميل  $\overline{X}$  يكفي في التحلل أو انفصال الياق الاستوانة  
 الصغيرة من بعضها فتحصل على الاستوانة تأثير واحد من ميل  $\overline{X}$  الحادث

من قوة ف فاذن تكون قوتا ف و ف الحادث عنهما انفصال  
الاسطوانتين المختلفتي القطر من بعضهما مناسبتين لمسطح القاعدتين مضروبا  
في نصف قطرهما وهذا الحاصل في غاية الاختصار  
ومتى عرفت المقاومة التي تقبلها الشجرة الاسطوانية في بعد معين سهل عليك  
دائما بواسطة النسب المتقدمة حساب المقاومة التي يقبلها ما مائلها من  
الاسطوانات الاخرى في ابعاد اخرى ولا يخفى ما لمثل هذا الحاصل من الاهمية  
في تعيين ما يلزم من الابعاد لاعددة الآلات كاعدة المنجنون والمعطاف والسهم  
الذي يستعمل في نقل قوة الآلات الادروليكية والجارية وغيرها وليس لقوة  
التواء الاخشاب حالة واحدة بل تتغير على حسب حالة الجوف وطبيعة كل نوع  
من الاعددة الاسطوانية ففي زمن الرطوبة تقاوم الاخشاب الالتواء مقاومة  
عظيمة بخلاف وقت القيقط واليبوسة فان القوى بتأثيرها تجبرها على الالتواء  
ومثل هذا الامر المخالف لما يتصوره الانسان قد ثبت بتجاريب عديدة عات  
في شأن التواء الاخشاب تركناها هنا خوف الاطالة

\*( بيان التواء الحبال ) \*

لابأس أن نورد في هذا المقام ما يشهد لذلك من العمليات المهمة الحادثة  
من خواص الحلزونات فنقول  
قد سبق لك في الدرس الثاني عشر من الجزء الاول أن كلا من الخيوط التي  
يتركب منها الحبل يكون بواسطة الالتواء منتنيا انثناء حلزونيا وأن محور  
هذه الحلزونات هو عين محور الحبل اعني الخط الذي يكون في جميع طوله  
على بعد واحد من محيط الحبل المقروض مستقيما وجميع الخيوط التي على بعد  
واحد من هذا المحور لها طول واحد بين القطاعين العموديين على المحور  
بخلاف الخيوط المختلفة البعد من المحور فليس لها طول واحد بل يزداد بازدياد  
البعد عن ذلك المحور ولاجل الوقوف على حقيقة ذلك نفرض أن ا ب ش د  
و ا ب ش د و ا ب ش د الخ ( شكل ١٠ ) مستطيلات  
تكون فيها اطوال ا د و ا د و ا د بالنسبة الى ارتفاع ا ب

الساوي لارتفاع الخطوة المشتركة بين الخيوط الحلزونية كناية عن طول محيطات  
 الطبقات المختلفة من الخيوط التي هي اجزاء الحبل فاذا مددنا من نقطة ب  
 خطوط ب د و ب د و ب د الخ المائلة كانت هذه الخطوط  
 كناية عن طول اجزاء الخيط الحادث منه دور كامل حلزوني على المحيطات  
 الموجودة في الالتصاقات وهي د و د و د الخ وهذه الخطوط  
 المائلة كلها غير متساوية وتزيد في الطول عن بعضها بازدياد بعدها عن خط  
ا ب العمودي على ا د واذا اخذت من مبدأ الامر عدة خيوط متوازية  
 ولونتها كلها دفعة واحدة جاريا في ذلك على الطريقة القديمة مع منعها عن  
 التزحلق على بعضها لزم انطواء الخيط المركزي وهو ا ب وامتداد خيط  
 المحيط الخارج وهو ب د بحيث يصير جزا الخيط المتحدان في الطول بين  
 قطاعي ا د و ب ث كناية عن ا ب و ب د لاجل حصول  
 التوازن بين الخيوط التي يتركب منها الحبل المصنوع بموجب الطريقة القديمة  
 وابقاء ذلك الحبل على صورته يلزم اولاً انطواء بعض اجزاء الخيوط الداخلة  
 وثانياً امتداد جميع الخيوط الخارجة وما جاورها وثالثاً موازنة مقاومة المد  
 المتأومة الانطواء

ولنفرض حبالاً مصنوعة بهذه المنابة يكون مسدوداً بقوتين واقعيتين على طرفيه  
 فيكون تأثيرهما فيه كناية عن مده وحيث ان الالياف المركزية منطوية  
 فاستعمله من القوى حيثند تعود به تلك الالياف الى حالتها الاصلية وهذه  
 القوى لا تعرض لها مقاومة من الخيوط فلذا كانت تتقوى بالانطواء فلا يبقى  
 حيثند ما يقاوم مد الحبل الا الالياف الخارجة وما جاورها

فعلى ذلك ليس في صناعة الحبال بموجب الطريقة القديمة ما يقاوم المد  
 والانتطاع الاجزاء واحداً من خيوط كل حبل وذلك لعدم استواء هذه الخيوط  
 في المقاومة فانها اذا لم تقبل من المد الدرجة معينة فان الخيوط الموجودة  
 خارج الحبل تصل الى تلك الدرجة بواسطة تأثير قوى جديفة وتقطع قبل أن  
 تبلغ الخيوط الداخلة النهاية في المتأومة واذا انتطعت الخيوط الاولى الخارجة



انقطعت حينئذ الطبقة البعيدة عن المركز وسرى ذلك الى ما بعدها حتى يصل الى مركز الحبل

وبمعرفة المقاومات المتوالية تعرف الفائدة المترتبة على جعل الخيوط التي يتركب منها الحبل ممتدة بالسوية عند صناعة هذا الحبل وبهذه الطريقة تكون سائر الخيوط مقاومة للمتدفعات واحدة ويؤخذ من ذلك أن هذا التأثير يشتهد بقدر غلظ الحبل حيث أن هنالك فرقا كبيرا بين مد الخيوط الخارجة والخيوط الداخلة

وهذه القاعدة هي التي جرى عليها الانكليزي في عمل الآلات الجديدة المعدة لصناعة الحبال ونحن أول من اشتهر هذه الآلات بمملكة فرنسا ثم سلك مهرة المهندسين الفرنسيين في صناعتها طرقا متنوعة اخترعوها فترتب على ذلك نتائج عظيمة لها اهمية في فن التجارة الفرنسية

فن ذلك ما صنعه كل من المهندس البارون لير و هوبرت في فينتي بريست ورشوفورت من الآلات التي بواسطتها كانت الحبال المصنوعة اقوى وامتن من الحبال القديمة فبذلك صارت ادوات السفن خفيفة ويجعل القوة في تلك الحبال واحدة يمكن تقصيص اقطارها فتقص ابعاد البكرات المعدة لتصريكها واستعمالها وبذلك تصير صواري السفن خفيفة جدا هذا وما نؤمله أن مینات التجارة الفرنسية تؤثر في صناعة الحبال الطرق الحديدية المذكورة وترجيحها لانها جامعة بين فائدتى الوفرة والمتانة

\*(بيان الخابور)\*

الخابور منشور مثلثي يؤثر بصلعه القاطع وهو هـ فـ (شكل ١١) ليعقل بين جسمين او جزمين من جسم واحد ويعرف هذا الصلح بمحدد الخابور القاطع واما واجهة ا ب ث د المقابلة للحد المذكور فتعرف برأس الخابور ويطلق اسم الجبهتين على واجهتي ا د هـ فـ و ب ث هـ الف التين على هذا الحد القاطع وشماله

ويستعمل الخابور في كثير من الفنون لقطع الاجسام او شقها فان السكاكين  
الفرنجية والمقاريض والسيوف والبلطخواير مستعملة دائما في زمن  
السلم والحرب وكذلك الفارات والشفرات او الكوازم والمعازق والمجارف  
والفاسات ونحوها وبالجملة فان الخابور من اهم الآلات المعدة للشغل

وليكن خابور ابث (شكل ١٢) هو الذي يدفع بواسطة قوة ح  
نقطة ه المسكة بقوة واحدة كقوة غ ونقطة ف المسكة بقوة

واحدة كقوة ك والمطلوب الان معرفة شروط التوازن في ذلك فيقال

على اي وجه كانت قوة ح متى لم تكن قوتا غ و ك عموديتين

بالتناظر على ضلعي الخابور وهما اث و بث فان نقطة ه و ف

يتزحلقان على طول هذين الضلعين وبذلك يختل التوازن فاذاً تكون اولا

قوة غ عمودية على اث وقوة ك عمودية على بث وثانياً

يلزم لاجل حصول التوازن بين قوتي ح و غ و ك الثلاثة

المؤثرة في خابور ابث أن تكون مجمعة في نقطة واحدة كنقطة و

وأن تعتبر احداها محصلة للآخرين فاذا رجعنا على و غ و و ك

و و ح الممتدة شكل و ح غ المتوازي الاضلاع تحصل معنا

هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: و ح : و غ : و ح غ

وهذا هو شرط توازن الخابور

وحيث ان اضلاع مثلث و ح غ الثلاثة عمودية بالتناظر على اضلاع مثلث

ابث الثلاثة يحدد اذن هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: اب : اث : بث

فاذا كان ضلعا الخابور وهما اث و بث متساويين (شكل ١٣)

لزم أن تكون مقاومتا  $\text{غ}$  و  $\text{ك}$  المناسبان لهذين الضلعين متساويتين  
ايضا كما هو الواقع في اغلب العمليات وعليه فاضلاع  $\text{الكاكين}$  والبلط  
والسيوف من حيث هي متماثلة وحيث تكون نسبة القوة للمقاومة الحاصلة  
لاجل دفع كل ضلع كنسبة عرض رأس الخابور الى طول الضلع  
وكما كانت الخواير حادة كانت اضلاعها طويلة بشرط بقاء رأس الخابور  
على حالة واحدة وكان ايضا الرأس ضيقا بشرط بقاء الاضلاع على حالة واحدة  
فلذا كان يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة بقدر ما يكون  
الخابور حادًا وكان ايضا  $\text{يكفي}$  في ابطال مقاومة مفروضة قوة صغيرة  
بقدر ما يكون الخابور حادًا

واذا وقع على نقطة  $\text{ه}$  او  $\text{ف}$  قوتان بدلا عن قوة  $\text{ه}$  غ او  $\text{ف}$   $\text{ك}$   
لزم أن تكون محصلة هاتين القوتين عمودية على احدى واجهتي  $\text{ا ث}$   
و  $\text{ب ث}$  المتقابلتين وحل هذه المسئلة الجديدة على غاية من السهولة  
وذلك بأن نصل بين  $\text{ه}$  و  $\text{ف}$  (شكل ١٣) اللتين هما نقطتا وقوع  
مقاومتي  $\text{ه غ}$  و  $\text{ف ك}$  بمستقيم  $\text{ه غ ف ك}$  ثم نسط  $\text{ه غ}$   
و  $\text{ف ك}$  على هذا المستقيم بعمودي  $\text{غ غ}$  و  $\text{ك ك}$  فيكون  
 $\text{ه غ}$  و  $\text{ف ك}$  هما القوتان المبعدتان لنقطتي  $\text{ه}$  و  $\text{ف}$  عن  
بعضهما

ومتى كان ضلعا  $\text{ا ث}$  و  $\text{ب ث}$  متساويين (شكل ١٣) كانت مقاومتا  $\text{ه غ}$   
و  $\text{ف ك}$  متساويتين ايضا ويحدث من خط  $\text{ه ف}$  واتجاهي  $\text{ه غ}$   
و  $\text{ف ك}$  زاوية واحدة فاذن تكون مقاومتا  $\text{ه غ}$  و  $\text{ف ك}$   
الجانبين متساويتين

واذا فرضنا زيادة على كون قوة  $\text{ح}$  (شكل ١١) عمودية على الحد  
القاطع وهو  $\text{ه ف}$  أن الخابور تدفعه قوة  $\text{خ}$  الموازية لهذا الحد

فان ذلك الخابور من حيث وقوع تأثير قوة ح عليه يغوص ومن حيث

وقوع تأثير قوة خ عليه يصر في جهة الحد القاطع

وبهذا تعرف القضية النظرية المتعلقة بالاجسام المتواصلة الاجزاء المتنوعة  
تواصلا تاما وان لم تثبت لها هذه الخاصية بالنظر لنفسها وطبيعتها فيلزم أن تعتبر  
تضاريسها الصغيرة جدا التي لا تدرك غالبا بمجرد النظر كاخوابير الصغيرة البارزة  
القائصة في سطح تلك الاجسام

فاذا ضغط الخابور على جسم يقبل الضغط كثيرا او قليلا فان هذا الجسم  
يقع عليه تأثير الضغط وتزداد المقاومة كثيرا حيث بها تكثر نقط تماس الخابور  
بالجسم المذكور

واذا زحلق الخابور الغير المصقول على الجسم صار كما ذكرنا بكل تضريس من  
تضاريس سطحه بمنزلة خابور مستقل يغوص في ذلك الجسم مع حصول  
القائدة التي تحصل من القوة للمقاومة سواء كانت صورة هذه التضاريس  
حادة كثيرا او قليلا فاذا تكون القوة المستعملة في ذلك مع الفائدة كناية عن  
قوة عمودية على اتجاه الحد القاطع تدفع الخابور وقد دلت التجربة على اهمية  
هذه الفائدة العظيمة في كثير من اشغال الفنون

ويتضح ما ذكرناه بالا لآلة المنتظمة التضاريس انتظاما تاما بواسطة الصناعة  
وهي المنشاوبان نفرض لوحا معدنيا كلوح أ ب ش د (شكل ١٦)  
يكون ضلعه وهو ش د مصنوعا على وجه بحيث تكون زواياه

وهي أ و أ و أ الخ متساوية ونستعمل بالتعاقب قوتي خ و ر  
المتساويتين لاجل شد المنشار ودفعه على جسم م ن واما القوة الثالثة  
وهي قوة ح التي هي في الغالب كناية عن ثقل المنشار فان تأثيرها يكون  
على اتجاه عمودي وهذا المنشار كناية عن الخابور المركب الذي يستعمل في نشر  
الاخشاب والمعادن وكثير من الاجسام الاخرى

واذا اريد قطع هذه الاخشاب او المعادن بمنشار ثابت واقع عليه تأثير ثقل

عظيم جدا كمشار **اب شد** (شكل ١٦) استحالة تقسيها وتعذر  
 مالم يتوصل الى ذلك بئذ لمجهودات خفيفة بأن يحرك الجسم تحركا مترددا  
 يضاهي تحرك المنشار

ولست صورة الزوايا البارزة المسماة بأسنان المنشار الرموز اليها بحروف  
**آ و آ و آ** متحدة بل تتنوع في كل منشار بحسب طبيعة الاجسام  
 وصلابتها

فاذا كان المراد نشر اجسام صلبة جدا وجب الاهتمام بجعل الاسنان صغيرة  
 ومقاربة من بعضها وجعل كل واحدة منها معدة لأن ترفع في كل حركة من  
 حركات المنشار جزءا صغيرا من الجسم الصلب واما اذا كان المطلوب نشر اجسام  
 دون ذلك في الطلابة فانه يلزم جعل ابعاد الاسنان كبيرة وجعل صورتها على  
 شكل منحن كفي شكل ١٧ عوضا عما هو الغالب من جعلها على شكل مثلث  
 مستو وليس للمشار المعدة لنشر الحجر والرخام (شكل ١٥) اسنان  
 اصطناعية بل هو كتابة عن صفحة من فولاذ نشد وتدفع على الكتلة التي يلزم  
 نشرها ويقوم مقام الاسنان رمل معد في احرفه الحادة تعمل عمل الخواير \*  
 ويستعمل في نشر حجر الصوان السنفرة بدلا عن الرمل ولا يشترط أن تكون  
 صفحة المنشار شديدة الصلابة وربما كانت من الحديد الخام وعلى ذلك يمكن  
 ادخال الرمل او السنفرة الى حد المنشار القاطع بوجه مستحسن  
 ولا يقتصر في الخواير المضرسة على جعل حدها القاطع مستقيما بل قد يكون  
 مستديرا وقد يكون على شكل منحنيات متنوعة

ومحيط المناشير المستديرة (شكل ١٨) مملوء بالاسنان فهي بذلك شبيهة  
 بالمناشير المعدة لنشر الاجسام الصلبة جدا (شكل ١٦) وبالمناشير المعدة  
 لنشر الاجسام التي دونها في الصلابة (شكل ١٧) ولا بد في صناعتها من  
 مزيد النشاط والمهارة في سقاية المعادن المتخذة هي منها وليس هذا محل وفي  
 العادة تصنع المناشير الصغيرة المستديرة من صفحة من الفولاذ مركبة على  
 محور من الحديد

وأما المناشير المستديرة فينشأ عنها ضرر دون غيرها من الآلات التي تنحركها متردد وذلك إنما في حالة رجوعها يكون زمن تلك الحركة خاليًا عن الفائدة بخلاف المناشير المستديرة المستديرة التأثير في جهة واحدة فان زمن الحركة فيها لا يخلو عن الفائدة

ويشترط في المناشير المستديرة أن تكون شديدة السرعة في الدفع حتى تعظم فائدة تأثيرها وليلاحظ حينئذ أنه يكفي ضغط الجسم المراد نشره قليلا على المنشار حتى يحصل النشر مع غاية السرعة والسهولة ثم ان محاور المناشير المستديرة تكون موضوعة بالتوازي للسطح الأفقي من التازجة ومعلقة بها بحيث يكون مستوى المنشار عمودا على مستوى أفقاذا المراد عمل منشورات تكون جميع واجهاتها عمودية على بعضها فان قطع الخشب المطلوب نشرها توضع على وجه بحيث تكون إحدى واجهتيها وهي المجزأة للنشر متحركة على مستوى التازجة والآخرى متحركة مع مماسها الدليل ثابت مواز لمستوى الطارة على بعد لا يتعدى بقديم قطعة الخشب المراد عملها يظهر بالبداهة أن مستوى المنشار يرسم فيها قطاعا موازيا للواجهة المستوية المستندة على الدليل فإذا تم عمل هذه الواجهة طبقت على الدليل وصارت واسطة في عمل واجهة أخرى من القطع المراد نشرها وتتوصل بهذه الطريقة إلى عمل منشورات مربعة أو مستطيلة معلومة السمك ولا يخلو هذا العمل عن الفائدة التامة إذا اقتضى الحال عمل عدة منشورات متحدة الجسم

ولامانع من استعمال المناشير المستديرة في الترسانات البحرية والطوبجية وسائر ورش الصناعات مع الفائدة وقد استعملت هذه المناشير في مملكة فرنسا وكنت أول من نقلها إليها من مملكة الانكليز

ولأبأس أن نذكر هنا على سبيل الاختصار المناشير الكبيرة المستديرة المعدة لنشر أخشاب الطبق كخشب الكابلي فنقول المنشل الكبير المستدير عبارة عن طارة قطرها ستة أمثاله تقريباً متركبة من تصاليب رفيعة جدًا في الجهة العمودية على مستوى المحور وعريضة جدًا في جهة هذا المحور مبتدأة منه

واحدة في تناقص عرضها شيئا فشيئا كلما قربت من محيط الطارة وهذا المحيط  
 محاط بعدة قسي من صفائح الفولاذ مخرسة يتكون من فواصلها المنشار  
 المذكور ثم ان تلك الطارة تتحرك بواسطة آلة بخارية وتكون كتلة خشب الكابلي  
 مثلا المطلوب نشرها مثبتة على عربة تكون سرعتها المتزايدة مناسبة لسرعة  
 الطارة وكلما دارت هذه الطارة غاصت في الكتلة وفصلت عنها جزءا من سمكها  
 يبلغ ٢ ملليمتر تقريبا وينتج هذا الجزء قليلا بمجرد انفصاله بحيث يكون  
 على شكل محدب حادث من سطح دوران مركب من صفائح معدنية او الواح  
 خفيفة مثبتة على تصاليب الطارة وبهذه الطريقة تنشر اجزاء الطبقات التي  
 عرضها اقل بامترو نصف تقريبا واعظم مناسير هذا النوع هو منشار المهندس  
 برويل الذي صنعه في معاملته التي في باترسي قريسا من مدينة لندرة  
 وكثير من الآلات ما هو في الحقيقة مناسير وذلك كالتاجل والمقاصل والمبارد  
 وكيفية عمل المناجل والمقاصل (شكل ١٩ و ٢٠) أن يصنع محيطها  
 وهو **أ ب ث** على وجه بحيث يكون له تضاريس واسنان هي كناية عن  
 خواير متقاربة من بعضها بالكلية ويحدث من حدها القاطع مع المحيط  
 زاوية واحدة في سائر جهاتها فكل قبضة من الزرع المحصور والحشيش  
 اليابس قابلت الآلة تقطع من سمكها بواسطة الاسنان المذكورة فاذا كان  
 التحرك سريعا جدا اخذت المقاومة في التناقص بحيث تقطع العيدان النباتية  
 وهي **ب** بدون تكسر والاوجب أن يبدل في قطعها قوة عظيمة بتحريك  
 الآلة عموديا على محورها ولا ينبغي ما في هذه الحالة من المشابهة البيئية بين تأثير  
 المنجل والمقصل والمنشار المستدير

وقد صنعوا من هذا القبيل سيوفا حدها القاطع ذو اسنان وتضاريس وهي  
 اسلحة فظيعة عظيمة التأثير لا تلايم الا اهل التبرير والخشونة  
 وما يسمى عند اهل المشرق بالشاكزية له تأثير كيتاثير المنشار المستدير فترى  
 الرجل من اهل آسيا بدلا عن كونه يطعن بها عموديا على حدها القاطع يقبض  
 عليها ويجعلها على اتجاهاه حتى تصل الى الشيء المراد قطعه وتجرحه فعند ذلك

تغوص في الجرح اسنان الحد القاطع على التوالي فيكون تأثير تلك الاسنان الغائصة كتأثير اسنان المنشار فلذا كانت جروح الشاكرات بهذه الطريقة أعرق وأعرض عما اذا كانت غاصلة من الطعن بالحد القاطع طعنا عموديا على السطح المراد قطعه .

واما المبارد والمحركات ( شكل ٢١ و ٢٢ ) فهي كناية عن سطوح مضرسة لها اسنان كالخواير الصغيرة المتساوية التي تكون عمادة مستوية الوضع اى مصنوعة على ميل يحدث منه مع محور المبرد او المحل زاوية تبلغ ٤٥ درجة فاذا تقدم المبرد او تأخر على سطح الجسم المراد مثله حدث على ذلك السطح من الخواير حوز متساوية يعقبها ملوسة السطح وصفاته في رأى العين وذلك بسبب تواصلها وتلاصقها ثم ان الاولى في استعمال المباد ما كان له اسنان كثيرة وصغيرة جدا اذ به يتقص بالتدريج عرض وعمق الحزوز التي تحدث على سطح الجسم المطلوب مثله حتى تكثروا يقل عمقها بحيث لا يمكن ادراك التجويف بهاسة البصر فعند ذلك يظهر للناظر ان السطح المبرود على غاية من الصقالة وما ينبغي التنبيه عليه ان المبرد لا يتوصل تأثيره في جهة واحدة بل ينتقل بالتدريج على سطح الجسم المراد مثله في اتجاهات مختلفة وبذلك تتقاطع الحزوز وتزول خشونتها

واما اذا كانت اسنان المبارد والمحركات ليست على بعد واحد من بعض افلا يمكن أن تصل سائر اجزاء سطح الجسم المقروض مثلاً مستويا فلا بد في جودة الصقل من أن تكون المبارد والمحركات محكمة الصناعة وهنظمة انتظاما هندسيا

ومما ينتظم في سلك المبارد والمحركات الكردات وهى عبارة عن خواير متفرقة عن بعضها وطويلة جدا ومتوازية ولها شبه باسنان المبارد التي على وضع مستو ولكن ليس الغرض منها الصقل وازالة ما في سطح الجسم من الخشونة وانما تستعمل لنظم الخيوط في اتجاهات معينة وتدخل في النسيج غير المنتظم الحادث من هذه الخيوط فتقسمه الى خيوط رفيعة جدا ثم تنظم تلك الخيوط



بواسطة تأثير ضغط خفيف

والنسبة المعدة لتسريح الصوف المسماة عند العامة بالشيخة تأثير كذا تأثير الخوابير  
ومن هذا القبيل أيضا الحديد الذي تطمر بها الخيل وهي مركبة من عدة صفائح  
مستنة متجهة بالتوازي لبعضها ومتحركة بقوة مشتركة وكذلك المشط المعد  
لترجيل الشعور وتسريحها واما محركات السكر (شكل ٢٣) والفرش  
والمقشات فتأثيرها كذا تأثير المنشار وذلك كالحرق المعد لحك الامتعة وتكميل

صقل السطوح

وكذلك المسلفة والجرفة فتأثيرها مشابه لما ذكر في تنظيم سطح الارض \* هذا  
ولم نستوف جميع آلات هذا النوع

ويستعمل في تحميل محصولات الصناعة اجسام مركبة بالطبع من اجزاء  
صغيرة هي في الحقيقة خوابير حادة وصلبة جدا فن ذلك حجر الخرفش وحجر  
السن فانهم معدان لصقل السطوح ويزيد الثاني اى حجر السن باختصاصه  
بسن الآلات القاطعة وما يوجد بسطحه المتبلور من الخوابير العديدة يستعمل  
في اصطناع السطوح الكبيرة المتواصلة من الآلات القاطعة وهناك ابحار  
سطحها الاصطناعي مستوي واخرى سطحها الاصطناعي مستدير

وليست ابحار الطواحين مقصورة على دق الحبوب وتفتيتها بل تغلقها وقطعها  
بتأثيرها الشبيه بتأثير الخابور ويعين على ذلك الافاريز المصنوعة في السطح  
المستوي من هذه الابحار

ولما نهينا الكلام على الخوابير المنشورية اى التي على شكل المنشور فاسب  
أن نتكلم على الخوابير المخروطية او الهرمية كالمناقش والمسامير وبعض  
الاسلحة والآلات المستعملة في القنن الحربية والملكية فنقول اذا اريد  
ادخال مناقش او مسمار مخروطى او هرمى (شكل ٢٤ و ٢٥)  
في جسم يقاوم ذلك فان كانت المقاومة مناسبة للانفراج الحاصل بين اجزاء هذا  
الجسم ولكمية النقط التي يلزم بعدها عن بعضها امكن أن نبرهن على أن الجهد  
اللازم لادخال المسمار او المناقش يكون مناسباً المقدار ينرسى الجزء المفروض

غوصه من ذلك المنقاش او المسار لان هذا المقدار مأخوذ بالنسبة لمحور المسار  
والمنقاش المعتبر كهرم او خابور

ومن الخواير الهرمية او المخروطية ايضا كثير من الآلات المستعملة  
في الصناعة كالسفود والخنجر والسجدة والابرة والدبوس وآلات الحفر والنقش  
وما اشبه ذلك و يشاهد في الحيوانات ما هو على صورة خواير متنوعة الشكل  
لاجل الاقتراس او الذب بها وذلك كالاسنان والقمرون والاطافر والمخالب  
ونحوها ومثل ذلك كثير جدا لا يمكن حصره

وقد ابتدع ارباب الصنائع تركيبا بدعيّا لاتحاد انواع البريمة والخابور حيث  
ان كلا منهما على افتراضه يحصل به التوازن بين المقاومة الكبيرة والقوة  
الصغيرة وباجتماعهما يحصل التوازن بين قوة اصغر من المقدمة بالنسبة  
للمقاومة

ومن هذه الآلات المركبة ما الغرض منه الدخول في الاجسام كالمنقب  
والمسار ومنها ما هو معد لقطع الاجسام فاذا فرضت خابورا مخروطيا ممتدا  
جدا وثبت هذا الخابور على صورة الخنزون حدث من ذلك الآلة المعروفة  
بالبريمة او كاشة المدفع التي الغرض الاصل منها الدخول في السدادة او في ممسحة  
الاسلحة النارية

ولاجل تجصيل النسبة بين القوة والمقاومة في مثل هذه الآلة يلزم أن نلاحظ  
انه اذا كانت هذه الآلة بريمة كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة  
كنسبة المحيط المقطوع بهذه القوة الى خطوة البريمة ثم ان كان طرف البريمة  
او كاشة المدفع متقابلا كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة كنسبة طول  
هذا الخابور القمروض الى سطح قاعدته مضروبا في مربع نصف قطر هذه  
القاعدة فيكون حاصل هاتين النسبتين هو عين حاصل النسبة الواقعة بين القوة  
والمقاومة غير أنه يلزم التنبيه على أن الاحتكاك يعدم جزءا عظيما من القوة  
وهي مع ذلك اكبر من المقاومة

والنوع الثاني من اتحاد البريمة والخابور وهو اجتماعهما معا له اهمية عظيمة

وهو أكثر استعمالا من الأول ويدخل فيه المناقب الكبيرة والمخاريز ونحوهما  
(شكل ٢٦ و ٢٧) فإذا فرضنا خابورا مثبتا على طول ضلع الاسطوانة  
وفرضنا أن هذا الاسطوانة تتحرك تتحرك كما مستد يرافقي كل وقت يمكن أن نعتبر  
أن هذا الخابور مدفوع بقوة واقعة على حده القاطع ويعظم تأثير هذه القوة  
كلما كان الخابور في زاوية حادة جدا بالنسبة للجسم المطلوب حركته  
وإذا فرضنا الآن ضلعاً مائتياً أثناء حركته لا من الضلع المستقيم فإن الحد  
القاطع من الخابور عوضا عن كونه يقطع الجسم قطعا عموديا على اتجاه التحرك  
الحاصل له يقطعه قطعا مائلا ويكون تأثيره كتأثير الخابور المستقيم الذي  
يوجه اتجاهه مائلا كالشواكروفي هذه الصورة تعظم القوة بالنسبة للمقاومة  
حتى ينشأ عن حركته الحد القاطع مع ضلع الاسطوانة المائتي عليها هذا الحزبون  
زاوية كبيرة فإذا أريد عمل مناقيب كبيرة تامة الصلابة لزم الاهتمام بجعل  
حددها القاطع حاداً جداً واحدنا عنه مع ضلع الاسطوانة المجهولة محورها لهذه  
الآلة زاوية كبيرة

وتجدي المناقب والمخاريز فراغا عظيما في خلال كل خطوة من خطوات  
البريمة الحادثة عن خيوطها الحادة ومتى تقبض تلك الآلة بالجسم المطلوب تقبضه  
انفصلت عنه اجزاء تكون صورتها على شكل الحزبون وتتصرف في الفراغ  
الموجود بين ادوار تلك الخيوط ومع ذلك فلا بد من التنبيه على أن تلك الاجزاء  
لا تشغل الاجزاء من الاسطوانة الكلية التي ينقبها المنقب او المخراز وعلى انها  
تكون ممتدة او منكسرة بمجرد انفصالها وهذا الانكماش بضرب تأثير الآلة  
ولكن لاجل منع ازدياده من زمن الى آخر فنجد المخراز او المنقب كي تخرج  
الاجزاء المنفصلة ثم نأخذ في الثقب ثانياً ويكون العمل بعد ذلك سهلاً

وقد عمل المهندس استيفان بريس في الآلة المعروفة بالمقرض لكونها تزيل  
وبر الجوخ عملية بدعيمة تتعلق بالبريمة والخابور وأول من جلب هذه الآلة  
الى مملكة فرنسا هما المهندسان المسمى كل منهما بوبارد وقد حسنها  
المهندس يوهن كولير تحسينا يينا ولاجل تصورها فرض آلة قاطعة

كالوسى معوجة على صورة الحزون ممتدة وملتفة على محيط اسطوانة مجوفة ونضع بمماسة الاسطوانة التي يقطعها الحد القاطع من الصفائح الحزونية صفيحة ثابتة مستقيمة وموازية لمحور هذه الاسطوانة وتحت هذه الصفيحة بالقرب منها جذا بحيث يكون للقماش المراد ازالة وبره محل يوجد مسند مواز ايضا للصفيحة الثابتة ومحور الاسطوانة فتجد احد طرفي الجوخ عنده جذا مشدودا وملتفا على قرص بكرة بخلاف الطرف الاخر فانه يكون مخرلا من فوق اسطوانة اخرى مخصوصة وبمجرد مرور الجوخ بين المسند والصفيحة الثابتة يلاقى صفيحة حزونية تتقدم بحسب ميلها على طول تلك الصفيحة وتزبل جميع ما يكون بارزا على القماش من الوبر حتى جاوزت الآلة الحزونية عرض الجوخ شرعت في ازالة الوبر آلة اخرى حزونية ابداً بحركة من الصفائح الحزونية

### \* (الدرس الثالث عشر) \*

#### \* (في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك) \*

اذا كانت الاجسام مصقولة صقلا تاما امكن أن تتزحلق على بعضها بدون أن يعرض لها ادى مقاومة من تماسها ببعضها فاذا ن يجري هنا جميع النسب البسيطة البهولة التي تكون بين القوى والمقاومات بدون حدوث تغيير في سائر الآلات التي ذكرناها على اختلاف انواعها ولكن لا يمكن أن يكون سطح الاجسام بهذه المثابة من بلوغ الغاية في الصقل فلا مانع حينئذ من تحرك الاجسام على بعضها بدون أن يحصل من خشونة مسطحاتها ادى مقاومة تبطل هذا التحرك ومثل هذه المقاومة يعرف بالاحتكاك

فاذا اريد حينئذ معرفة المقدار الحقيقي لتأثير القوى الواقعة على الآلات لزم معرفة قيمة مقدار الاحتكاك وضم هذه المقاومة بالجديدة الى المقاومات المعلوم مقدارها الحقيقي من النظريات

ومن الطبيعيين والمهندسين من بحث بالتعاقب عن قوانين الاحتكاك سالكا

في ذلك مسلك النظريات والعمليات مثل اموتونس وموشبورويك  
وكاموس وبوسون فهم الذين بحثوا عن هذه المسئلة بالتعاقب الانهم  
لم يوفوا بما حثوا على ما ينبغي فاعتنى بتكميلها الشهير كلب  
وتوضيحات عظيمة تدل على فطنته وجودة قريحته

فينبغي الزام كل من تصدى لتكميل فنون الصناعة بالنسج على منوال  
كلب في النظريات المتعلقة بالالات البسيطة مع الالتفات الى احتكاك  
الاجزاء الصلبة وانكماش الحبل ليظهر لهم بواسطة التجارب التي يشرعون  
فيها انه يمكن وضع قواعد تسهل بها الحسابات التي لا يمكن معرفتها بمجرد  
النظريات بل لابد في ذلك من ضخمة تلك التجارب اليها

فلنعرض قبل الشروع في معرفة تأثير سطحين يترحلان على بعضهما جسما  
موضوعا على مستو مائل ميلا كافيا فيلزم بمقتضى الدعوى النظرية المقررة  
في شأن المستوى المائل أن الجسم يسقط بتأثير التناقل مع سرعة مجحلة تكون  
نسبتها للسرعة المجحلة لهذا الجسم الساقط بدون معارضة على مستقيم رأسي  
كنسبة ارتفاع المستوى المائل الى طوله ومع ذلك فقد يكون الجسم ساكنا  
فمن ذلك الورق والريش والدواقة التي توضع غالبا على لوح التخته المائل بدون أن  
تنزلق على طول هذا المستوى فتكون بالبداية مقاومة الاحتكاك اكبر من  
قوة التناقل فاذا امتلأنا بواسطة الاحتكاك هذا المستوى المستقرة عليه تلك  
الاجسام شيئا فشيئا فاننا نصل الى الوضع الذي يكون مبدأ التحرك هذه الاجسام  
وهو وضع يكون فيه تناقل الجسم من مبدأ الامر اكبر من مقاومة الاحتكاك  
فعلى ذلك لا مانع من سلوك هذه الطريقة في معرفة درجة الاحتكاك الحادث  
بين اجسام متنوعة عند تحركها على بعضها ويستنبط من ذلك عدة فوائد  
مهمة

مثلا اذا كانت الاجسام موضوعة على المستوى المائل منذ مدة فانه الاناخذ  
في التحرك عليه الا اذا امتلأ اكبر مما اذا وضعت على مستوييه معلوم وحصلت  
امالته باثر الوضع فعلى ذلك اذا استقرت الاجسام مدة من الزمن على مستوي

مادى فاما تكتسب بذلك نوع التصاق به تزداد الموانع التى يلزم الظهور عليها  
والظفر بها

ولنؤثر على هذه الطريقة الطريقة التى جرى عليها كلب مع بيان الآلة  
فنعول

ان تلك الآلة عبارة عن تازجة صلبة (شكل ١) مثبت عليها الوحان ك و ح  
م م و م م غليظان ومتوازيان ومتلاصقان وكل من اطرافهما يزيد  
فى الطول على التازجة وبين التهايين البارزين من احد طرفى اللوح قرص  
بكرة محوره على اللوحين المذ كورين ك قرص ر وعلى التهايين البارزين  
من الطرف الاخر منجنون افنى كمنجنون ط ط

وعلى هذين اللوحين الغليظين تخشبية من اللواح كخشبية ح ح  
جيدة الصقل يزيدان عنها فى الطول نحو متر ونصف وهى التى تتزحلق  
عليها الاجسام التى يراد عند تحركها معرفة مقاومتها الناشئة عن  
الاحتكاك وهذه الاجسام مسطحات من الخشب (شكل ٣) على  
اطرافها حالتا ث و ث المعدة احدها لالمسالك طرف الحبل الذى  
يلتف على عمود المنجنون (شكل ١) وهذا الطرف هو محل تأثير القوة  
والثانية لالمسالك طرف الحبل الذى يمر بحلق قرص البكرة ويوجد على هذا  
الحبل تارة كفة ميزان ككفة ب (شكل ١) يوضع فيها اثنان بقدر  
ما يراد لاجل تبويب القوة وتارة رافعة كرافعة ل (شكل ٢) تؤثر  
فى هذا الحبل بواسطة ثقل كذراع القبان

ثم ان اول عملية اجراها كلب بموجب هذه الطريقة هو انه وضع على لوح  
الاختبار نقالة (شكل ٣ او ٤ او ٥ او ٦) تتزحلق على هذا  
اللوح ثم تستقر لحظة من الزمن

وكان كل من النقالة (شكل ٣) واللوح المذ كورين من خشب البلوط  
وهذا النوع من الخشب اذا استقرت عليه النقالة مدة ثمانية او ثمانيتين او ثلاث

نوان الى عشر نوان فلا بد في تحريكها من قوة كبيرة غير أن القوة التي نستعمل  
عقب دقيقة في بدء تحريك النقالة وهي قوة الضغط تكون مع قوة مقاومة  
الاحتكاك في نسبة لا تتغير الا من ١٠٠ : ٢٢١ الى ١٠٠ : ٢٤٦  
وان كانت الانضغاطات تختلف من ٢٧ كيلوغراما الى ١٢٣٠  
كيلوغراما

ولاجل معرفة التأثير الناشئ عن سطح الاحتكاك الممتد كثيرا او قليلا يسير  
باسفل النقالة منشوران من البلوط كمنشوري ط و ط (شكل ٤)  
وحيث ان جزء هذين المنشورين المماس للوح الاختبار مستدير على شكل  
اسطوانة لم يبق لسطح الاحتكاك من العرض الامتداد يسير فيكون حيث  
اتجاه المنشورين المذكورين موازيا لاتجاه تحريك النقالة ولا فرق هنا بين  
مقاومات الاحتكاك متى تحركت النقالة بمجرد وضعها على لوح الاختبار  
او بعد وضعها عليه بمدة يسيرة

وفي الانضغاطات التي تختلف من ٤٠٠ الى ١٣٠٠ كيلوغرام في كل متر  
مربع لا تختلف نسبة الضغط الى القوة اللازمة للنفذ بالاحتكاك الا من  
١٠٠ : ٢٣٦ الى ١٠٠ : ٢٤٠ ومثل هذه النسبة يمكن  
اعتبارها ثابتة تقريرا وحيث يلاحظ انها مساوية تقريبا للنهاية الكبرى من  
نسبة الانضغاطات الى الاحتكاكات متى احتكت النقالة بجميع مسطح  
قاعدتها على لوح الاختبار فاذا اخذنا المقادير المتوسطة في الصورتين بواسطة  
التجارب وجدنا الفرق بينهما لا يبلغ واحدا من ثلاثة وعشرين

فاذا كان الضغط صغيرا كان الاختلال كبيرا واذا كانت الاجمال كبيرة لم يظهر  
الخلل وتكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك ثابتة تقريرا مهما بالغ  
امتداد السطح الواقع عليه الاحتكاك

ثم انهم بعد أن اختبروا احتكاك البلوط على البلوط اختبروا ايضا احتكاك  
الراتنج على البلوط استبدلوا المنشورين المتخذين من خشب البلوط الموضوعين  
اسفل النقالة بمنشورين من خشب الراتنج

وإذا تحركت النقالة بعد وضعها على لوح الاختبار بمدة يسيرة فإن مقاومة الاحتكاك تصغر ما يمكن لكنها بعد عشر ثوان تكبر بمقدار ما تبلغه بعد مضي ساعة

فإذا بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الأصلية بواسطة تأثير حمل عظيم كانت نسبة الضغط الى هذه المقاومة هي نسبة ١٥٠ : ١٠٠

وإذا ثبتنا على لوح الاختبار قاعدتين من الراتنج تترحل عليهما النقالة التي استعملناها في التجارب المتقدمة فإنه عند احتكاك الراتنج على الراتنج بهذه المثابة تكون دائما ادى مقاومة للاحتكاك حاصلة متى تحركت النقالة باثر وضعها على لوح الاختبار الا انه اذا مضى على تلك المقاومة عشر ثوان كبرت بمقدار ما لومضى عليها ساعة وفي هذه الصورة تتغير نسبة الانضغاطات الى المقاومات من ١٨٥ : ١٠٠ اذا كان الضغط صغيرا الى ١٧٧ : ١٠٠ اذا كان كبيرا

ويحصل اختبار احتكاك خشب الدردار على الدردار بالكيفية المتقدمة وهي أن يسمر منشوران باسفل النقالة وقد ذكر كلب أن خشب الدردار الذي يجرد منه الانسان عند اللمس لطافة ونعومة كالقطيفة هو في التصاقه ببعضه اشد بطناس من سائر الاخشاب المتقدمة ويظهر به ازدياد الاحتكاك بعد مضي عدة ثوان ولا يبلغ نهايته الكبرى اذا كان الضغط يساوى ٢٢ كيلو غراما الا بعد استقرار الخشب اكثر من دقيقة وعلى ما ذهب اليه هذا العالم الطبيعي من أن الضغط يتغير من ٢٢ كيلو غراما الى ٨٣٠ كيلو غراما تكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك من ٢١٤ : ١٠٠ ومن ٢١٨ : ١٠٠ وهاتان النسبتان لكون ما بينهما من الفرق قليلا جدا يصح اعتبارهما متساويتين في سائر نتائج العمليات المحضة

ولنذكر لك هنا ما بين فقل النقالة وجلها ومقاومة الاحتكاك الناشئة عن هذا الثقل من النسب المتوسطة المستنبطة من التجارب السابقة فنقول انه يحدث



عند احتكاك البلوط على البلوط	٢٢٤ : ١٠٠
وعند احتكاك البلوط على الراتنج	١٥٠ : ١٠٠
وعند احتكاك الراتنج على الراتنج	١٧٨ : ١٠٠
وعند احتكاك الدرदार على الدرदार	٢١٨ : ١٠٠

وفي سائر التجارب التي ابلغنا الكلام على نتائجها يكون ترزح الاخشاب على بعضها في اتجاه عروق الخشب قد وجهت في تلك التجارب المتوالية عروق منشوري ط ط المسمرين باسفل النقتين اتجاهها وعموديا على عروق خشب لوح الاختبار ( شكل ٥ ) وعلم مما سبق انه لا بد من استقرار الخشب مدة من الزمن حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وان نسبة الضغط بلغت من ٢٥ كيلوغراما الى ٨٢٥ والنسبة بين هذا الضغط ومقاومة الاحتكاك هي دائما ثابتة تقريبا فانها عند احتكاك البلوط على البلوط مع قطع النظر عن عروق الاخشاب المتماصة تكون

٣٨٥ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٣٦٧ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

وعند عدم المانع تعظم الفائدة في احتكاك الاخشاب على بعضها اذا كانت عروق القطع المتماصة متجهة على بعضها اتجاهها وعموديا عن كونهما ترزح على عروق قطعيتين متماسكتين

ثم ان احتكاك المعادن على الاخشاب ( شكل ٦ ) لا بد فيه من مكث الجسمين متماسكين زمنا طويلا حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى واقل ما يلزم لذلك اربع ساعات وخمس بخلاف احتكاك الاخشاب على بعضها فان الدقيقة الواحدة تكفي في كون المقاومة تاخفا في الازدياد من زمن الى آخر فلا بد في الصورة الاولى من طول المدة حتى تمنع هذه المقاومة عن الازدياد بالكلية

فاذا استقر الجسمان على بعضهما اربعة ايام تغيرت نسبة الانضغاطات الى مقاومة الاحتكاك من ٥٣٠ : ١٠٠ الى ٤٨٦ : ١٠٠

اذا كان تغير الانضغاطات من ٢٦ كيلوغراما الى ٨٢٥ كيلوغراما ويحدث من النحاس مثل هذه النتائج في الزمن الذي تبلغ باثـره مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وفي نسبة الضغط الى هذه المقاومة وهي

$$١٠٠ : ٥٠٠$$

وبعد ترزحلق المعادن على الخشب يسـمى على لوح الاختبار ( شكل ٧ ) قاعدتان من الحديد في غاية من الاحكام والعقل ترزحلق عليهما قاعدتان اخريان من الحديد ايضا مثبتتان اسفل النقالة

وفي هذه الصورة تظهر من اول وهله اعظم مقاومة للاحتكاك فتكون النسبة على هذا المنوال قدر الضغط ضغط مقاومة الاحتكاك

$$\left. \begin{array}{l} ٢٥ \text{ كيلوغراما} :: ٣٤٠ : ١٠٠ \\ ٢٢٥ \text{ كيلوغراما} :: ٣٦٣ : ١٠٠ \end{array} \right\} \text{احتكاك الحديد على الحديد}$$

فيمكن أن نعتبر مقاومات الاحتكاك هنا مناسبة للانضغاطات تقريبا وكذلك الحديد اذا احتك على النحاس الاصفر فان نسبة الانضغاطات فيه الى مقاومة الاحتكاك تكون بهذه الصورة

قدر الضغط

$$\left. \begin{array}{l} ٢٥ \text{ كيلوغراما} :: ٣٦٠ : ١٠٠ \\ ٢٢٥ \text{ كيلوغراما} :: ٤٠٠ : ١٠٠ \end{array} \right\} \text{احتكاك حديد على نحاس اصفر}$$

فاذا احتك الحديد على النحاس الاصفر وكانت ابعاد سطوح التماس صغيرة ما يمكن بأن جعل مثلاً على قاعدتي النقالة المتخذتين من الحديد اربع مسامير من النحاس رؤسها مستديرة ومثبتة باسفل النقالة حدثت هذه النسبة وهي

الضغط مقاومة الاحتكاك

$$اذا كان قدر الضغط ٤٣ كيلوغراما كانت النسبة ٥٩٠ : ١٠٠$$

$$واذا كان ٤٢٥ كيلوغراما كانت النسبة ٦٩٠ : ١٠٠$$

وهذه التجربة مترتبة على تنبيه مهم وهو انه بمجرد ما تتحول على قاعدتي الحديد النقالة المحاطة بمسامير من نحاس تكون النسبة ٥٠٠ : ١٠٠ ولكن

بعد حصول التحرك عدة مرات يصقل الحديد والنحاس صقلا تاما بواسطة احتكاكهما على بعضهما فتصير هذه النسبة ٦٠٠ : ١٠٠ وبذلك تنقص مقاومة الاحتكاك وحينئذ فالاجزاء والرمل وسائر الآلات التي تستعمل في الصقل لاتزيل خشونة سطوح الاجسام بالكلية وانما يزيلها الاستعمال بواسطة الانضغاطات العظيمة التي تحصل عند سرعة تحرك الآلات

وفي كثير من الفنون اذا اريد تقيص مقاومة احتكاك سطحين يتزحلقان على بعضهما يوضع بينهما اجسام دسمة كالزيت والدهن وشحم الخنزير القديم وما اشبه ذلك وهذا هو ما يغلب استعماله في ذلك الغرض ولا بد من معرفة الدرجة التي تبلغها الادهان في تقيص المقاومات وقد استعمل كلب في مبداء الامر الشحم النقي

ولا تبلغ المقاومة بهذا الدهن نهايتها الكبرى الا بعد مضي مدة طويلة جدا فاذا مضت خمسة ايام او ستة كبرت هذه المقاومة عما كانت عليه أولا بنحو ١٤ مرة اذا كان سطح التماس كبيرا بالنسبة للضغط واما اذا كان صغيرا فان نسبة الانضغاطات الى المقاومات تبلغ نهايتها الكبرى سريرا

وقد وضع الدهن في التجارب المنقدمة مدة يسيرة ووضع ايضا فيما بعده من التجارب مدة ثمانية ايام فكان على غاية من الصقل الا ان دسامته قلت عما كانت عليه أولا وكانت ايضا مدة استقراره لها تأثير عظيم في مقاومة الاحتكاك ولوحظ أنه اذا استقر بقدر هذه المدة حدث عنه مقاومة ادنى من مقاومة الدهن الموضوع منذ مدة يسيرة

ثم ان كلب اوقع الاحتكاك بين قاعدتين من النحاس مثبتتين باسفل النقالة واخرين من الحديد مثبتتين بلوح الاختبار ومدهونتين بشحم جديد يبلغ سمكه ٥ مليمترا تقريبا فازدادت مقاومة الاحتكاك في مبداء الاستقرار ثم بلغت نهايتها الكبرى بعد مضي مدة يسيرة

واذا قطعنا النظر عن التصاق السطحين التماسين الذي هو كناية عن كمية ثابتة

حدث عن تحريك النقالة بدون واسطه أن مقاومة الاحتكاك تكون مناسبة للانضغاطات في نسبة ١٠٠ : ١١١٠ ولما كان تأثير الالتصاق كما ذكرنا مهملًا بالنسبة للإحمال العظيمة ~~كان~~ كان للدهن فائدة عظيمة أذ بدونه يحدث من ضغط قدره ٦٠٠ كيلو غرام ١٠٠ كيلو غرام من مقاومة الاحتكاك بخلاف ما إذا كان الدهن بالشحم فلا تحصل المائة المذكورة الا بضغط قدره ١١١٠ كيلو غرام وبالجملة فتى كانت السطوح مدهونة بالشحم لم تتغير نسبة الانضغاطات الى مقاومات الاحتكاك اصلا مهما كان امتداد السطوح التماسه وهذا اذا كان مقدارها غير مناسب للضغط بالكلية وايضا قد يكون هذا الضغط صغيرا بقدر ما يراد من غير أن تتغير النسبة فاذا لم تتحرك النقالة الا حين بلوغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى كانت النسبة عند استخراج تأثير الالتصاق هكذا

٩١٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٩٩٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

واذا حصل الدهن بزييت الزيتون عوضا عن الشحم بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى من مبداء الامر تقريبا وكانت مساوية  $\frac{1}{4}$  الضغط وبما تغيرت من  $\frac{1}{4}$  الى  $\frac{1}{4}$  اذا استعمل في الدهن شحم الخنزير القديم فعلى ذلك يكون الشحم الجديد اعظم نفعا في صورة ما اذا كان الاحتكاك بين النحاس والحديد

ولا يمكن في الظفر بالمقاومة الحاصلة لتحرك جسم حين استمراره على سطح مجرد معرفة القوة اللازمة لذلك بل لابد ايضا من معرفة الكيفية التي تتغير بها المقاومة على حسب ما يكون للجسم من السرعة الكبيرة ثم ان الآلة التي سبق ذكرها هي المستعملة في ذلك دائما غير أن رمانة القبان (شكل ٢) التي الغرض منها أن يكون للجسم في التحرك اقصى درجة تستبدل بالحبل والكفة (شكل ١) الحاملة اثقالا بواسطة يكون للجسم سرعة مجزئة فيحصل الاحتكاك مع الحفاف بدون دهن وتحرك النقالة على لوح الاختبار بما تحمله تدريجيا من

الاتقال التي يحدث منها هذه النقلة سرعة تكبر شيئا فشيئا

واذا كانت النقلة موضوعة على لوح الاختبار وحامله لنقل بطلب معرفة تأثيره فالتأثير على الكفة بالتوالي انقلا متنوعة ثم تحرك النقلة تارة بدق المطرقة دقات خفيفة وتارة بدفع النقلة من خلفها بواسطة رافعة ويوجد في احد اطراف لوح الاختبار الطولية تقاسيم مضبوطة بحيث تدل نهاية النقلة عند قطع هذه التقاسيم على المسافات المقطوعة وبالجمله فتقدر مدة التحركات بكيفية ترجح على غيرها في التجارب القليلة الضبط المراد علمها وهي كيفية البندول الذي تمكث كل رجة من رجائه نصف ثانية

ويلزم ملاحظة القوة التي لا بد منها في مبدء تحرك النقلة ثم تستعمل في اثناء ذلك قوة متوسطة وفي الآخر تستعمل قوة كبيرة ويلزم ايضا ملاحظة الزمن الذي لا بد منه في قطع النقلة مسافتين قدرهما ٦٦ سنتيمتر

والزمن الذي تستغرقه النقلة في قطع المسافة الاولى هو على العموم ضعف الزمن الذي تستغرقه في قطع المسافة الثانية تقريرا غير ان الجسم المتحرك بقوة محجلة ثابتة الذي يقطع مسافتين متساويتين على التعاقب يستغرق تحركا زمنا تكون نسبتها الى بعضها ::  $\sqrt{10000} : \sqrt{20000}$  فتستغرق النقلة حينئذ ١٠٠ وحدة من الزمن في قطع الجزء الاول من المسافة و ١٤٢ وحدة ايضا من الزمن المعد لقطع الجزء الاول مع الثاني فلا يزيد زمنه على الاول الا ٤٢ وحدة

فعلى ذلك يكون تحرك النقلة الناشئ عن القوة المحجلة الثابتة وهي قوة تناقل الاتقال منتظم المحجلة وذلك يستلزم أن مقاومات الاحتكاك لا تعدم في كل وقت الا كمية مناسبة من القوة التي يزيد بها التناقل فاذا ن تكون مقاومة الاحتكاك كمية ثابتة مهما كانت سرعة الاجسام المتحاسة

ومع ذلك اذا كانت السطوح المتحاسة كبيرة فان الاحتكاك يزداد بازدياد السرعة وبالعكس بمعنى انه اذا كانت السطوح المتحاسة صغيرة فان الاحتكاك يتقص قليلا بانقاص السرعة ايضا غير أن ما بين هاتين الصورتين من

الاختلاف لا يغير شيئاً في جودة النتيجة التي ذكرناها في اغلب العمليات  
وقد عين كلب بحسابات وان كانت مختصرة على قدر الكفاية الا انه يطول  
بيانها هنا مابين الانضغاطات والاحتكاكات الحادثة عنها من النسب  
في التجارب الستة الآتية التي تنوع فيها السرعة بحيث تفوق ما يحصل  
في العمليات من الانضغاطات العظيمة وهاك بيان ذلك  
احتكاك واقع على سطح يبلغ امتداده ١٠٥٥ يستجبراً مربعاً بمحل بهذه  
الثابتة الآتية

نسبة	ضغط	تجربة
٥,٧	٢٥ كيلوغراما	تجربة أولى
٩,٤	١٨٨	تجربة ثانية
٩,٥	٢٩١	تجربة ثالثة
٩,٤	٨٢٥	تجربة رابعة
٩,٢	١٧٨٨	تجربة خامسة
١٠,٤	٦٥٨٨	تجربة سادسة

وفي هذه التجارب يكون اتجاه عروق خشب بلوط النقاله هو عين اتجاه عروق  
خشب لوح الاختبار ثم توجه عروق خشب النقاله اتجاهها عمودياً على عروق  
خشب لوح الاختبار ومن وقتئذ لا يحصل في نسبة الانضغاط الى الاحتكاك  
الا تغير قليل جداً سواء كانت السطوح الخمسة متسعة او كانت قصباً ناضيقة  
كحدود السكاكين الغليظة وقد اورد كلب في ايضاح هذا التغير عبارة بدئية  
لأبأس بإيرادها هنا فنقول

اذا كانت القواعد المصنوعة على صورة خابور والمثبتة بأسفل النقاله تترحلق  
على عروق الخشب فان نقط لوح الاختبار تصل الى اطراف القواعد فتبقى هناك  
مضغوطة حتى تقطع النقاله مسافة بقدر طواها وحيث ان طول النقاله ٤  
دسمترات فاذا كان التحرك مثلاً ٤ دسمترات في كل مائة فان كل قطعة من  
نقط اللوح تضغط مدة ٤ نوان وحيث يحدث عن عدم تساوى السطوح

الناتج عن التصاقها ببعضها مقاومة بها تتغير الصورة التي تكون لها عند الانضغاط ومع ذلك فالمدة المذكورة التي هي ٤ ثوان تكفي في تغيير صورة تلك السطوح ونحن جزء منها فعلى ذلك اذا كانت النقلة المستندة الى زوايا مستديرة تتزحلق على عروق الخشب فان الاحتكاك يصغر بالنسبة في الانضغاطات الكبيرة والصغيرة واما اذا كانت هذه القواعد المصنوعة على صورة خابور موضوعة في طرف النقلة فان كل نقطة من نقط لوح الاختبار عند تحرك النقلة لا تكون مدة انضغاطها الا بقدر مرورها على الزاوية وهذه المدة ليست طويلة بحيث تكفي في تغيير عدم التساوي تغيرا ينافي لزم اذن أن يكون الاحتكاك في هذه الصورة كالاحتكاك في صورة ما اذا كان امتداد السطوح متناهيا وحيث انه في كتا الصورتين لا تتغير صورة عدم التساوي الا بكمية يسيرة فان عدم التساوي المذكور يكون متداخلا في بعضه بدون مانع وجميع ما سلفه من النتائج انما هو في صورة احتكاك البلوط على البلوط واما في صورة احتكاك الراتنج على الراتنج والدردار على الدردار فان نسبة الضغط الى الاحتكاك تكون على هذا الوجه

راتنج على راتنج ٦ : ١

دردار على دردار ١٠ : ١

وفي صورة مماسة الاخشاب للمعادن يكون الاختلاف اظهر مما في صورة مماسة الاخشاب للاخشاب

فيثبت من مبدء الامر بأسفل النقلة قواعد من حديد معدة للاحتكاك على لوح الاختبار المتخذ من البلوط واما ما كان الضغط بالنسبة الى السرعة الهينة يكون الاحتكاك على الثلث من هذا الضغط تقريبا وتكون نسبة ضغط النقلة الى القوة التي تسيرها في كل ثانية خطوة كنسبة ٦ : ١ وهذا الفرق العظيم الواقع في النسبة لا يحصل عند ازدياد السرعة في السطوح الصغيرة المماسية التي تضغطها اقبال كبيرة ولا في الاخشاب المصنوعة ويكاد يظل تأثير السرعة في الاحتكاك اذا مضى بعد الاحتكاك عدة ساعات

وفي جميع التجارب التي ذكرها تكون الاجسام المتماسكة مغمورة بالدهن  
والذي يلائم تقيص احتكاك الاخشاب من الادهان هو الشحم ودهن الخنزير  
القديم واما الزيت فلا يستعمل الا في المعادن ولما كانت الادهان من الاجسام  
اللينة الرخوة كان تليفيها لاحتكاك السطوح انما هو بملء تجاوب  
تلك السطوح بالادهان المذكورة وتوسطها بينها وجعلها على بعد واحد  
من بعضها وهذا هو السبب في أن الادهان الشديدة الرخوة تكون دائماً رديئة  
جداً بالنسبة للانضغاطات العظيمة فاذا كانت السطوح المتماسكة زوايا  
مستديرة قصت الادهان احتكاك النقالة قليلاً واذا امرت النقالة التي لها  
سطح تماس كبير مرتين او ثلاثاً على شحم واحد شوهد أن هذا الشحم ينطبق  
على اللوح ويدخل في مسام الخشب ولا يقاوم تعشق الاجزاء ببعضها المقاومة  
واهمية وقد ازداد الاحتكاك ازدياداً عظيماً في عدة تجارب يكثر استعمالها  
بدون تجديد دهن ولذلك هنا قبل أن نتكلم على التجارب الحاصلة  
في صورة دهن الاخشاب في كل مرة السبب الذي ينشأ عنه غالباً عدم ضبط  
النتائج فنقول

اذا تم الصانع عمل لوح الاختبار والنقالة واهتم كل الاهتمام بتحسين سطوحهما  
وصقلها بالفارة الكبيرة اوراق السمك او بزحلقتهما على بعضهما عدة مرات  
وهما جافان فالتامع ذلك نرى عند دهن السطوح انه ينشأ عنها في الاحتكاك  
مقدار كبير من عدم التساوي يعظم بقدر كبر امتداد السطوح وصغر الضغط  
وبه يزداد الاحتكاك ازدياداً ظاهراً بالنسبة لازدياد السرعة وليس لهذا  
الاختلاف قواعد صحيحة تضبطه ولا براهين نظرية تحققه غير أن النقالة  
اذا ترحلت بمعاونة الدهن بالشحم او دهن الخنزير القديم عدة ايام متوالية  
وكان عليها انقال جسيمة كان الاحتكاك دائماً مناسباً للضغط تقريباً وبذلك  
لا تزيد النسبة بزيادة السرعة لازدياد هينة

ولاجل تعيين تأثير الدهن بالشحم الذي يتجدد في كل تجربة من التجارب  
الاتية في احتكاك البلوط على البلوط تستعمل النقالة التي استعملت



منذ ثمانية ايام في التجارب الحاصلة في شأن الاحتكاك وقد جرب الدهن  
بالشحم المتجدد في اغلب المرات اكثر من مائتي مرة وكان الواقع على كل دسيترا  
مربع ضغط عدة فئا طير

فظهر في الحسب الاولى من تلك التجارب اختلال عظيم وكان ما بعد هادونها  
في الضبط وكان كل من النقالة ولوح الاختبار يظهر أنه قد بلغ الغاية في الصقل  
الذي يقبله خشب البلوط وهالك نتيجة التجارب الستة التي علمت في شأن  
سطح تماس يبلغ امتداده ١٣ دسيترا مربعا

$$\text{تجربة اولى} \quad \text{احتكاك} = \frac{\text{ضغط}}{110} = 27,6$$

$$\text{تجربة ثانية} \quad = \frac{1600}{64} = 25,8$$

$$\text{تجربة ثالثة} \quad = \frac{800}{36} = 22,6$$

$$\text{تجربة رابعة} \quad = \frac{400}{21} = 19,0$$

$$\text{تجربة خامسة} \quad = \frac{200}{12,5} = 16,0$$

$$\text{تجربة سادسة} \quad = \frac{0}{7,5} = 0$$

والنتيجة هنا مشكلة من وجهين احدهما المقاومة الثابتة الناشئة  
عن التصاق اجزاء الشحم ببعضها وامتداد السطوح والثاني المقاومة الناشئة  
عن مجزء الاحتكاك فاذا طر حنا هذه الكمية الثابتة حدث

تجربة أولى  $\frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}} = \frac{3200}{112} = 28,57$

تجربة ثانية  $\frac{1600}{59} = 27,1$

تجربة ثالثة  $\frac{800}{31} = 25,8$

تجربة رابعة  $\frac{400}{16} = 25,0$

تجربة خامسة  $\frac{200}{8,5} = 23,5$

تجربة سادسة  $\frac{100}{1,75} = 57,1$

وما ذكرناه من التفاصيل يكفي في بيان حكمه تجارب كلب المتواليه التي عملها في شأن احتكاك عدة انواع من الخشب على بعضها واحتكاك اخشاب على معادن واحتكاك المعادن على معادن مدهونه وذلك لا يخرج عن الصور الاتية وهي

اولا أن يحدث عن احتكاك الاخشاب المترحلة على بعضها وهي جافة بعد استقرارها مدة كافية مقاومة مناسبة للانضغاطات تزيد في مبادئ الاستقرار زيادة يئنه الا انها تصل في العادة بعد مضي بعض دقائق الى حدها ونهايتها الكبرى

وثانيا اذا كانت الاخشاب تترحل على بعضها بسرعة ما وهي جافة فان الاحتكاك يكون ايضا مناسبا للانضغاطات الا ان شدته تكون دون المقاومة الحاصلة عند الاجتهاد في فصل السطوح عن بعضها بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار فتكون مثل نسبة القوة اللازمة لفصل سطحين من البلوط وترحلتهما على بعضهما بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك عند اكساب السطوح درجة ما من السرعة

كنسبة ٩٥ : ٢٢,٢ او ١٠٠ : ٢٣

وثالثاً أن يكون احتكاك المعادن المترحلة على المعادن بدون دهن مناسباً أيضاً للانضغاطات إلا أن شدته لا تختلف سواء كان المطلوب فصل السطوح عن بعضها بعد مضي زمن ما من الاستقرار أو كان المطلوب بقاء أى سرعة منتظمة

ورابعاً أن تكون نتائج احتكاك السطوح المختلفة كالإخشاب والمعادن المترحلة على بعضها بدون دهن مخالفة بالكلية للنتائج المتقدمة لأن شدة احتكاك تلك السطوح بالنظر إلى زمن الاستقرار تزداد مع البطء ولا تصل إلى حدّها إلا بعد مضي أربعة أيام أو خمسة وربما زادت على ذلك لكنها في المعادن تصل إليه بعد مدة من الزمن وفي الإخشاب بعد مضي بعض دقائق وهذا الزيادة يكون أيضاً بطيئاً بقدر ما تكون مقاومة الاحتكاك في السرعة غير البليدة مساوية تقريباً لمقاومة التي يمكن مجاورتها عند ارتجاج السطوح وانقضاء الها عن بعضها بعد مضي ثلاث نون أو أربعة من الاستقرار وليس ذلك عاماً في جميع الصور فإن السرعة في الإخشاب المترحلة على بعضها بدون دهن وكذلك في المعادن المترحلة على بعضها لا تؤثر في الاحتكاك إلا تأثيراً هيناً ولكن الاحتكاك هنا يزيد زيادة يئنة بالزيادة السرعة وبالجملة فالاحتكاك يزداد على وجه التقريب الحسابي بالزيادة السرعة على وجه التقريب الهندسي ولذا ذكر لك قضية كلب النظرية فنقول

لا يتأني الاحتكاك إلا من اشتباك خشونة السطوح ببعضها ولا يؤثر فيه الالتصاق إلا تأثيراً هيناً لأن الاحتكاك في سائر الأحوال مناسب تقريباً للانضغاطات ولا علاقة له بامتداد السطوح وحينئذ يكون الالتصاق بالضرورة مؤثراً على حسب عدد نقط التماس أو على حسب امتداد السطوح ومع ذلك فلما كان هذا الالتصاق ليس معدوماً بالكلية بذلنا الجهد في تعيينه بالتجارب السابقة المتنوعة فوجدناه يساوي نحو ٨ كيلوغرامات في كل متر مربع من سطوح البلوط غير المدهونة ولكن يمكن

في العمليات اجمال المقاومة الحاصلة من هذا الاتصاق كلما كثرت  
الكيلوغرامات على المتر المربع

وليس السطوح فيلذا كرمز العمليات متغيرة عن اصلها بالدهن ففي ذلك  
لا يمكن أن تتغير الحوادث الا بتغيره لا بد منه في طبيعة الاجزاء التي تتركب منها  
الاخشاب والمعادن وذلك لان الاخشاب مركبة من الياض ممتدة واجزاء لينة  
حرنة والمعادن بعكسها فهي مركبة من اجزاء منزوية كروية صلبة غير قابلة  
للانثناء بحيث لا يمكن للضغط والجذب ولو بلغا اقصى الدرجات ان يغيرا صورة  
الاجزاء المتركة منها سطح تلك المعادن واما الياض المتنوعة التي يتركب منها  
الخشب فيسهل انشاؤها في سائر الجهات

ولاجل تقريب ما ذكر نقول ان الياض التي تستر سطح الاخشاب تتداخل  
في بعضها كشعور الفرشتين عند ملاقاتهما

فاذا اريد تحصيل درجة الجذب الذي لا بد منه في رحلة احدى الفرشتين  
على الاخرى لزم اختبار وضع الشعور في الزمن الذي يلزم فيه الاجتهاد في فصل  
الفرشتين عن بعضهما بعد مضي مدة من الاستقرار وكذلك يلزم اختبار  
ما تكون عليه الشعور من الوضع المخالف متى كان لكل من الفرشتين عند  
ترحلتهما على بعضهما تحركا اياها كان

فلو وضعت حينئذ خشبية جيدة الصقل على اخرى تداخلت الياض التي  
على السطوح في بعضها بدون مانع

فاذا اريد الان رحلة الخشبية العليا على السفلى فان الياض هذين السطحين  
تلتقي على بعضها حتى تتماس بدون تعشيق ومتى وصلت الياض المتماساة الى هذا  
الوضع لم يأت ميلها اكثر من ذلك وتكون زاوية ميلها المتعلقة بسطح الياض  
واحدة في جميع درجات الضغط فعلى ذلك لا بد في جميع درجات الضغط من  
قوة تناسبه حتى لا تعشق الياض التي تتزحلق على بعضها بخسب زاوية  
هذا الميل

ولكن اذا انفصلت النقالة واستمرت على التزحلق انعدم تعشق الياض

وبانعدامه يتخلل الالياف المتصلبة من سطح واحد فراغ قليل تلك الالياف على بعضها حتى تماس وبناء على ذلك تكون زاوية ميلها اعظم من المتقدمة الا ان هذا الميل يكون واحدا في سائر درجات الضغط فعلى ذلك يلزم في السطوح المتحركة ان يكون الاحتكاك مناسباً للانضغاطات ولا يحصل تغير في هذه القاعدة الا اذا كانت السطوح المتماسكة الى اخرها بعدا هالكا انما وقع على الاجزاء الداخلة من السطوح تأثير انضغاطات عظيمة امسكن ميل الالياف ايضا وقد وجدنا ذلك في النقالة الموضوعة على زاويتين مستديرتين من البلوط عند ترحلقها على عروق الخشب

وبالقاعدة المذكورة يسهل ايضاح هذا المظنون وهي انه متى ترحلت قواعد البلوط الحاملة للثقالة في جهة طولها وانضغطت تقطع لوح الاختبار الثابت الموضوعة تحت هذه القواعد في المدة التي تستغرقها النقالة في قطع طولها كان هذا الزمن كافيا في ارتفاع السطوح وميل الالياف ميلا كثيرا بحيث تكون اطرافها متماسكة لكن اذا كانت الزوايا الحاملة للثقالة موضوعة في طرف النقالة ومارة منها فان تقطع تماس الالياف مع لوح الاختبار الثابت لا تجد زنا تترقى فيه بكيفية محسوسة لعدم وقوع تأثير الانضغاط عليها الا في مدة يسيرة وتكون نسبة الضغط الى الاحتكاك واحدة في سائر الانضغاطات فكيفية كانت اوصغيرة

وليست المعادن مركبة من الالياف ولا من اجزاء لينة ولا يتغير وضع تجويف شكلها على اى حالة كانت فعلى ذلك اذا كانت النقالة متمركزة اوساكنة فان شدة الاحتكاك تكون واحدة دائما لان لها تطلعا بصورة العناصر المادية التي تتركب منها السطوح ويميل المستوى التماس في قطع التماس فاذا ترحلت الاخشاب على المعادن دخلت الياف الخشب المرونة في التجويفات وحيث ان تلك الالياف لينة مرنة كان دخولها في التجويفات المذكورة تدريجيا فعلى ذلك تزداد مقاومة الاحتكاك كلما طال زمن الاستقرار الذي يعقب الجهد المبذول لاجل ترحلق السطوح على بعضها ولكن اذا فرضنا

أن الثقالة متحركة فان صورة الالياف التي تستر سطوح الخشب ترتقي عند ملاقاتها لخشونة المعدن لتجتاز رؤس هذه الخشونات وهذا اللين ضروري لابتدئ منه حتى تكون مقاومة مرونة الالياف مناسبة للضغط فيكون حينئذ الاحتكاك في السرعة الغير اللينة مناسبا ايضا للضغط كما دلت على ذلك التجربة فاذا تحركت الثقالة بسرعة ما بحيث ان تجويفات سطح المعدن منسعة بالنسبة لسلك الياق الخشب فان هذه الالياف بعد مرورها على خشونات السطوح المعدنية يرتفع جزء منها على صورة جلة من الياق فيلزم اذن انشاؤها انشاء جديدا حتى تجتاز ما بقي من الخشونات ويكثر انشاؤها كلما عظمت السرعة فاذن يزداد الاحتكاك بموجب قانون السرعة ولكن مع ذلك كلما اخذت السرعة في الازدياد يكون انشاء الالياف على شكل زاوية صغيرة لان تلك الالياف عند مرورها من خشونة الى اخرى لا تجدزنا تستقيم فيه استقامة تامة

ولما كانت سطوح التماس في احتكاك الاخشاب والمعادن المدهونة بالشحم على بعضها عبارة عن زوايا مستديرة لم يكن للسرعة تأثير في الاحتكاك عند ترحلق القواعد على عروق الخشب ومثل هذا الاحتكاك يترأى منه أن الشحم يلصق الياق الخشب ببعضها ويزيل جزءا من مرونتها ولذا ذكر هنا ملحوظة مهمة لابتدئها في هذا الموضوع فنقول لما ادار كلب بكرة من خشب الانبياء على محور من الحديد ليس به دهن وجد الاحتكاك في ظرف العشرين دقيقة الاولى يزداد بازدياد السرعة بموجب قوانين ككقوانين الاخشاب والحديد المتحركة في تحرك الثقالة وذلك لان البكرة في هذه الصورة جديدة ومع ذلك بعد اعتراق الاحتكاك المتواصل بالانظر الى سرعة الدوران مدة ساعتين ينعدم من الالياف معظم مرونتها ويكاد الاحتكاك أن لا يزداد بازدياد السرعة ومثل ذلك ينشأ بسرعة عند دهن المحور بالشحم فانه بعد أن يستغرق تحرك الدوران دقيقة بالنسبة الى ضغط قدره ٦٠٠ رطل يكون احتكاك البكرة المتخذة من خشب الانبياء الموضوعة على محور

من الحديد مدهون بالنخس واحدا دائما ليكون لها درجة ما من السرعة  
واذا قابلنا بين مقاومة احتكاك الجسم له مثل مقروض يسير الى جهة الامام  
وهو مستند على جسم آخر خال عن الدوران وبين المقاومة الحادثة من الجسم  
الاول الذي يدور على الثاني وجدنا هذه المقاومة الاخيرة دون الاولى بكثير \*  
مثلا اذا دحرجنا الخشب على الخشب كانت نسبة المقاومة الى الضغط بالنظر  
الى ملف صغير كنسبة ١٠٠ الى ١٦ او ١٨ وبالنظر الى ملف  
كبير كنسبة ١٠٠ الى ٦ فاذا حصل التزحلق بدون أن ندحرج  
الخشب على الخشب تغيرت النسبة وصارت من ١٠٠٠ الى ٢٠٠  
او من ١٠٠٠ الى ٣٠٠ على حسب جنس الخشب فعلى ذلك اذا  
دحرجنا جسم ما مستديرا على جسم مستوي لا عن سحبه بدون دوران بزيادة  
مقدار النسبة في ذلك من ١٢ الى ٢٠

وبما ذكرناه يكون استعمال النقل في اشغال الصناعة هو الاولى والاحسن  
فاذا فرضنا أن عربة ثقلاها ١٠٠٠ كيلوغرام يحملها عجلتان فان كانتا  
مثبتتين في المحور واحتكاكهما على ارض ذات احاديث من الخشب ولم يكن فيهما  
قضبان معدنية فان مقاومة الاحتكاك تبلغ ٢٠٠ كيلوغرام واذا كانت  
العجلة لا تدور الا بالصعوبة فان مقدار هذه المقاومة يتغير فورا ولا يبلغ الا ٦  
كيلوغرامات فما دونها فاذا فرضنا حينئذ أن المحور له قطر يساوي واحدا  
من خمسين من قطر العجلة فان تلك العجلة متى دارت دورا كاملا كانت كل نقطة  
من نقط بيت المحور المماس له تقطع سطحها اقصر من محيط العجلة خمسين مرة فعلى  
ذلك تكون سرعة هذا البيت عند احتكاكه على سطح ذلك المحور مساوية  
لواحد من خمسين من سرعة العجلة بالنسبة الى النقطة المماسية للارض وحيث  
لم يكن ثم مانع فاحتكاك العجلة على المحور يساوي واحدا من خمسين من  
احتكاكها لو استعملنا بذل العربة ثقالة وزحلقناها على الحديد ومن هنا يعلم  
ما ينقصه النقل من مقاومة الاحتكاك لاسيما اذا تعشق بيت المحور جلب من  
النحاس لاجل تلطيف احتكاكها على حديد المحور فلم يبق علينا حينئذ في الظفر

بالمقاومات الظاهرة المقاومة خشونة الارض والتصاقها بمحيط العجلة وهذه  
المقاومة تنقص نقصا ينافي استعمال سلك الحديد

فاذا كان المطلوب نقل احوال ثقيلة لتوضع على العربات فان العتالين يرحلونها  
على ملفات او اكر (شكل ٨)

وقد شاهدنا في بلاد ايقوسيا أنهم يرفعون السفن من البحر على مستوماتل  
فيضعونها على نوع من العربات له عجلات صغيرة تجري على سكة من الحديد  
وبهذه الطريقة لا يحتاج في رفع السفن الثقيلة من البحر الى كثير من الناس  
بل يكفي القليل منهم وقد سبق لك ذكر الكيفيات التي وصلت بها الصناعة الى  
تقيص مقاومات الاحتكاك وهناك احوال بعكس هذه الكيفيات تزداد بها  
تلك المقاومات بقدر الامكان مثلا اذا انتقلت العربات من سكة اقصية الى سكة  
محدرة جدا ازم منعها عن أن تأخذ في سرعة معجلة تكون عاقبتها خطرة وذلك  
يحصل باحد امرين اما أن تمنع العجلات عن الدوران واما أن تخلى على  
احتكاكها على الارض الا أن مقاومة الاحتكاك الحاصلة للعجلات في هذه  
الصورة تبرى قضبانها في اسرع وقت وتجعلها غير صالحة للاستعمال ويمكن

تدارك هذا الضرر بواسطة زمام معدني كزمام ص (شكل ٩) يتعشق بمحيط  
العجلة ويتوسط بينها وبين الارض ويكون ممسكاً بسلسلة مثبتة في مقدم العربة  
وهذه الطريقة لا تخلو عن الضرر ايضا وذلك انه اذا لم تكن الارض مستوية  
استواء تاما بأن كان فيها شقوق او اجار عظيمة المسافة فلا مانع من أن العجلة  
تثقل من الزمام فيؤدي ذلك الى اشد الخطر

والاولى في منع الضرر ان تستعمل قوس دائرة من خشب او معدن بأن نضعه  
خلف احدى العجلات الكبيرة (شكل ١٠) على وجه بحيث يمكن تقريبه  
من هذه العجلة بواسطة برمة الضغط فاذا ازداد هذا الضغط نشأ عنه مقاومة  
احتكاك تناسبية ثم ينعدم فتحرك العجلة بعد مدة يسيرة وهذه الكيفية التي لا مانع  
من تحسينها وتطبيقها وتقويتها وزيادتها عند الاقتضاء ترجح على غيرها في عدة  
امور وهي الآن مستعملة في عربات النقل وغيرها من سائر انواع العربات



ومن المهم في الآلات الكبيرة لاسيما طواحين الهواء وضعها عن سرعة السير  
او تلطيف ذلك بقدر ما يراد ان لم يمكن المنع المذكور وذلك لا يحصل الا بواسطة  
زام كرام **المبحث (شكل ١١)** والمراد بالزام هنا قوس دائرة كبير  
من خشب محاط من خارجه بقضيب من حديد واحد طرفيه ثابت والاخر  
ملصوق بذراع رافعة صغيرة فاذا وقع على الذراع الكبير من هذه الرافعة تأثير قوة  
فان هذا الزام يجبر على القرب من العجلة الكبيرة وبذلك تشترك مع الآلة  
في التحرك وتضغط هذه العجلة ضغطا كبيرا جدا فتكون مقاومة هذا الضغط  
كافية في تحصيل التأثير المطلوب واذا تأملت تجارب كلب في سائر  
احوالها عرفت في لمي ضغط فرضته مقاومات احتكاك اللازمة التي يراد  
استعمالها

ومن الآلات التي يرجح فيها الزام على غيره الجرو اي العيار اذ يدون ذلك  
لا يمكن للشغالة التفرغ بتلك الآلة على الحمل المطلوب رفعه الا يذل مجهودات  
تكتفي في ذلك والاتحركت تحركا تفهقر بالسرعة بحيث يترتب على ذلك عوارض  
عظيمة واطوار جسيمة ويرجح استعمال الزام ايضا في الطارات الكبيرة  
المستديرة كما سبق بيانه في طواحين الهواء لان التأثير الحادث عنه يمنع من  
وقوع الضرر بالكلية

ويوجد بمدينة لندرة مخازن يقال لها مخازن الدول بها مخبونات فيها مثل  
هذا الزام وهي معدة لادخال البضائع في تلك المخازن واخراجها منها فاذا اريد  
تنزيل هذه البضائع من المخبونات اقلت متويا لانه دفعه واحدة فيميط الحمل  
بالسرعة الناشئة له عن تناقله ويكون احد مهرة الشغلين قابضا بيده على  
الذراع الكبير من الرافعة الواقعة تأثيرها على الزام المذكور فينتظر الحمل الهابط  
حتى يبقى بينه وبين الارض او العربة التي يلزم وضعه عليها اقل من متر فعند ذلك  
يتكى على الرافعة دفعة واحدة فيقف الحمل حينئذ وقفا وقبلا

\*(الدروس الرابع عشر)\*

\*(في بيان الضغط والشد والرفعة على العموم)\*

قد اختبرنا فيما سبق تأثير القوى في الاجسام من حيث انكماشها وتمددها مع فرض ثبوت ابعادها وهو فرض عن الحقيقة بمعزل فان اغلب الاجسام التي يقع عليها تأثير القوى لاجل انكماشها يتقص بعدها في الجهة التي يحصل فيها الانكماش

والمقصود لنا هنا بيان ما بين الاجسام المتنوعة من المبيانات الكلية فنقول هناك بعض اجسام يظهر أنها تتأثر بأدنى ضغط بدون مقاومة وتبقى بعد الانضغاط على الابعاد التي تحدث لها من الضغط وهذه هي الاجسام الرخوة وهناك اجسام اخرى تتأثر ايضا بالضغط مع السهولة الا أنها بمجرد اقطاع تأثير القوة الضاغطة تأخذ الابعاد التي تناقصت بتأثير هذه القوة في الازدياد حتى تقرب من الابعاد الاصلية كثيرا او قليلا وهذه الاجسام التي ثبتت لها هذه الخاصية هي الاجسام المرنة

ولا تكون الاجسام تامة المرونة الا اذا عادت الى ابعادها الاصلية بالسرعة التي انعدمت منها حين الضغط ولكن ليس هناك من الاجسام التي على اصل الطبيعة ما هو بهذه المثابة

واذا ضغط الجسم اول مرة خلى ونفسه بأن يبطل تأثير القوة الضاغطة ليعود الى ابعاده الاصلية بقدر الامكان فان عادت هذه القوة الى التأثير ضغط الجسم ثانياً ضغطها اشد في العادة من ضغط المرة الاولى واذا بطل تأثير القوة الضاغطة عادت في العادة الى ابعاده الاصلية لكن لا كل مرة الاولى بل دون ذلك فعلى هذا تتناقص مرونة الاجسام شيئا فشيئا بتكرر تأثير القوى الضاغطة ومع ذلك فكثير من الاجسام لا يندعم من مرونته في كل مرة الاجزاء غير محسوس ومثل هذه الاجسام يقبل الاستعمال زمنا طويلا مع ما يقع عليه من كثرة تأثير القوى الضاغطة الذي يوجد تارة وينعدم اخرى

ويكثر في الصناعة استعمال الاجسام المرنة القابلة للانضغاط لاجل توزيع الضغوط المشتركة توزيعا بالسوية بواسطة القوة التي لا تؤثر الا على اتجاها مستقيم واحد فاذا كان المطلوب مثلاً أن تنقل على فرخ من الورق او على قطعة

من القماش نقشا موجودا على لوح معدني فالتناضع على الفرخ او القماش  
جسما مرنا قابلا للانضغاط ونضع فرخا آخر على اللوح المعدني ثم نضع فوق  
الجميع جسما صلبا مستويا يقع عليه تأثير القوة في نقطة واحدة او اكثر وينقل  
هذه القوة على الجسم الصلب المذكور تضغط الاجزاء البارزة من الجسمين المرين  
على التوالي ويجردضة عليها الاجزاء البارزة تتلاقى مع ما بقى من الاجزاء وتضغط  
معظمها بحيث يقع على جميع نقط السطح الذي تلاقى مع اللوح المعدني من جهة  
ومع فرخ الورق او قطعة القماش من جهة اخرى جزء من القوة الضاغطة يكتفي  
في دخول القماش او الورق اللذين هما جسمان قابلان للانضغاط في تجويفات  
اللوح فيحدث من ذلك نقل النقش وطبعه

ويستعمل في كثير من الفنون ما هو من قبيل تلك الاجسام المرنة او الرخوة التي  
تستعمل في توزيع الضغوط توزيعا منتظما والاقصت كلها على نقطة واحدة  
فتفتت الجسم المطلوب ضغطه او تغير صورته

فاذا كان المطلوب صقل اجسام معدنية او خراطمها وكان سطح تلك الاجسام يلزم  
الاعتناء به بالكلية فالتناضع بين هذا السطح وفكي الكاشة جسمارخوا  
كالخشب والرماس والنحاس وما اشبه ذلك فيتوزع به الضغط على عدة  
من نقط سطح الجسم المطلوب صناعته وهذه الكيفية لا يلحقه ادنى تلف

وفي حزم البضائع ونحوها مما يجشى على سطحه التلف يلزم تحويرها باجسام  
مرنة ولا ضرر بعد ذلك في ضم هذه البضائع الى بعضها بالحبال لان ضغط تلك  
الحبال حينئذ يكون موزعا على الاجسام القابلة للانضغاط المحيطة بها فيكون  
ما يصل من الضغط الى النقط المختلفة من الاجسام المحزومة على غاية من الخفة

وسياقى في الدرس المعهود لاصطدام الاجسام اختبارا على هذه التأثيرات  
في الاجسام المرنة المعدة لتحويل التحركات السريعة او تلطيفها

واذا فرض ان قوتين يؤثران في جهتين متضادتين لاجل ابعاد اجزاء جسم  
عن بعضها فانهما يمتدان ويزيدان كثيرا او قليلا بعد هذا الجسم في جهة  
المستقيم الذي يصل بين نقطتي وقوع القوتين المتجهتين الى جهتين متقابلتين

وهناك اجسام يقع عليها تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد بدون احتياج الى عظيم جهد فاذا امتدت اول مرة لا تعود الى ابعادها الاصلية وهي الاجسام المرخوة وثم اجسام اخرى تعود الى ابعادها شيئا فشيئا حتى تصل الى حالتها الاصلية عند انقطاع تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد وهي الاجسام المرنة وهناك اجسام اخرى ايضا ثبت لها هذه الخاصية وهي عودها الى ابعادها الاصلية سواء كانت منكسنة او محدودة وبالجملة فالاجسام منها ما يعود الى ابعادها الاصلية عودا تاما اذا التكمش ولم يمتد ومنها ما يعود اليها اذا امتد ولم ينكمش

ومن المهم جدا في سائر فروع الصناعة بالنسبة الى المواد الاولى التي لم تدخلها الصناعة والمواد التي دخلتها الصناعة وكذلك مادة خواص المرونة أن ينتخب دائما لكل صنعة ما يلائمها من المواد ولا مانع من نظم ذلك في سلك التجارب المضبوطة التي لم تعمل الى هنا الا في عدد قليل من الاجسام والاحوال التي لا يعتنى بشأنها كثيرا

وليس في الاوتار المتخذة من النيل والحرير والقطن ونحو ذلك ولا في السلوك المعدنية قابلية لمقاومة الضغط وذلك ناشئ عن صغر قطرها بالنسبة لطولها وانما فيها قابلية لمقاومة الشد كل منها على حسب درجته في القوة والمرونة وما فيها من المرونة يجعلها مستحسنة في اشغال الصناعة

مثلا اذا كان المطلوب تحويل تحريك دووان من قرص الى آخر او من طنبور الى اخر فانتفعت من فوق حلق القرصين او على محيط الطنبورين خيلا واسيرا يكون له في الشد درجة معلومة وتوزع الشد توزعا منتظما على جميع نقط ذلك الحبل او السير فيقع تأثير الشد على كل من هذه النقط حتى يعود الحبل الى السير الى بعده الاصل ولا يتأني ذلك الا اذا ضغط محيط القرص او الطنبور بالحبل او السير فاذا تحرك بعد ذلك احد القرصين او الطنبورين جذبت مقبوضة الاحتكاك الحبل او السير على محيط القرص الاول او الطنبور الاول ويحدث من الضغط الواقع من الحبل او السير على القرص الثاني او الطنبور الثاني

احتكاله يحول التحرك الى هذا القوس الثاني او الطنبور الثاني وبلاستعمال  
تنافض المرونة المضادة للشدود تنافضا تدريجيا فلذا كانت الحبال والسيور  
المستعملة وان كانت مقاومة دائما بواسطة من وتحتها لا تقاوم الاشياء شيئا ولا تعتد  
الا بالتدريج ومثل ذلك يحمل الانسان على البحث عن الطرق التي بسلوكها  
يجتنب هذا الملة (راجع الدرس الثالث من الجزء الاول)

فاذا كانت الاوتار ممدودة ومشدودة بالكلية وضرب على ما كان منظر فامن  
قطعاتهم خليت ونفسها فانها تحرك تحركا متريدا كثيرا او قليلا يعرف بتحريك  
الاهتزاز فتشير عند ذلك التحرك ما يكتنفها من الهواء فيحدث الصوت واذا  
ازداد بالتدريج شد الوتر علت بالضرورة الاصوات الحادثة منه عند اهتزازه  
وانقلت بالتدريج من الرخو الى الحاد ويكون في هذه الاصوات المتكونة بهذه  
المناسبة ما يطرأ الاجماع ويصلح لان بعد من ألحان المويقي وقد تعينت بالتجربة  
النسب الحاصلة بين شدود الوتر اعني الانتقال المستعملة في تحصيل الشد الذي  
تحدث عنه ألحان المويقي فعلى ذلك يكون تعيين الالان في المويقي نتيجة

### تجربة ميكانيكية

فاذا كان المستعمل وترا واحدا وفرضنا له طولا فان الاصوات في هذه الحالة  
تكون رخوة بقدر كبر قطر الوتر وقد تعينت النسب الحاصلة بين ارتفاع  
الاصوات وقطر الاوتار المختلفة وصارت معلومة والاتات ذات الاوتار  
عبارة عن عدة اوتار معدنية او متخذة من جلود الحيوانات متحدة الابعاد  
والاطوال بحيث ينشأ عنها بين حدود معلومة تقاسيم ألحان المويقي وهي  
الاهوية والمقامات وقد اقتصرنا في تعيين استعمالها على ما سنذكره فنقول  
اذا نقص طول الوتر الباقي على شدة الثابت فان الاصوات التي تحدث عنه  
تكون حادة من تفعلة بخلاف صورة العكس وهي ما اذا زاد طوله فانها تكون  
رخوة

ودراسات الاتات ذات الاوتار هي عبارة عن روافع القرض منها ضغط نقطة  
ثابتة في بعض الاجزاء المتوسطة من الاوتار لاجل تقويم طولها فعلى هذا

يحدث بالتوالي في وتر واحد أصوات مرتفعة قليلا أو كثيرا وبذلك ترتداد  
الآلات حسنا وجودة

ولما اتينا الكلام على مرونة الخيوط منفردة فاسب أن نشرع في الكلام  
على مرونتها مجتمعة فنقول ان الخيوط المستعملة في صناعة الاقشة تكون  
مرنة كثيرا او قليلا وهذه المرونة تسهل صنعها فعلى ذلك اذا لم تكن خيوط  
التسيج معدودة بالسوية في وقت واحد ولم يمكن تغيير بعضها بدون انقطاع فان  
عدم تساويها الناشئ عن الابعاد او عن الحركات التي تقتضيها صناعة نسيج  
الاقشة يوجب انقطاعها ولو كان عدم تساويها المذكور خفيفا وهناك  
خيوط على العكس من الخيوط المذكورة حيث انها عند وقوع تأثير القوى  
عليها تمتد دفعة واحدة وتعود الى ابعادها الاصلية ولا يعرض لها انقطاع الا اذا  
طُرأت عليها عوارض على خلاف العادة

ثم ان الاقشة المعدة للباس اذا لم تكن منسوجة من خيوط مرنة لا يتكون منها  
الاسطوح منفردة بفرضها غير قابلة للمتد أو سطوح لا تعود الى صورتها الاولى  
اصلا بفرضها رخوة بالكلية ولكن يمكن بواسطة المرونة أن يكون لبعض اجزاء  
تلك الاقشة انحناء أن يكونان تارة في جهة واحدة وتارة في جهتين متقابلتين  
وربما كانا تابعين للين اعصاب الجسم البشري في سائر التحركات المختلفة  
الحادثة من الاعضاء ولما كان كل من حجم هذه الاعضاء وانحنائها يتغير سريرا  
لا سيما في المفاصل لزم أن تكون الاقشة غير متعاضية على هذه التحركات وأن  
تعود فيما بعد الى صورتها الاصلية وذلك انما يحصل بواسطة مرونتها

وهناك بعض ملابس تحتاج في استنادها وضمها الى بعضها الى قوة معلومة  
لا تتجاوز حدة ما اذا كان المستعمل لاجل حصول مثل هذه الانضغاطات نسيجا  
غير قابل للمتد تألم منه اللابس عند تحركه جسمه الذي تكاد تزيد به ابعاد هذا  
اللباس المحيط به فلهاذا كانت حارمة النساء الافرنجية والتفاضات والجوارب  
وسائر اجزاء الملابس المباشرة لجلد الانسان مصنوعة من مواد مرنة ويمكن  
أن يدرك بالتألم الحاصل للارجل من النعال التي ليست مرونتها كافية لما ينشأ

عن هذه الخاصية من المنفعة للنوع الانساني  
وعوضا عن أن نستعمل خيوطا مستقيمة متوازية في تكوين السطوح المرنة  
التي ليس لها الخاصية قبول كل خيط منها للثمة فنصنع نسيجا تكون فيه الخيوط  
على اتجاه منعطف ويكون لها طول اعظم من البعد المستقيم الذي بين اطرافها  
فان النسيج الذي بهذه المثابة يقبل المذاكر من النسيج الاعتيادي مع أن القوة  
فيهما واحدة فاذا قطع تأثير هذه القوة انضم النسيج الى بعضه بحيث تقطع  
قطعه المتطرفة مسافة عظيمة وعلى هذا المنوال يصنع النسيج المجدول الذي يصير  
بواسطة الامتداد والانضغاط صالحا لاجل صفة تامة لسر الاغضاء الانسانية التي  
تتغير صورها وابعادها عند التحرك وهناك تأثير يضاهي تأثير الجدل وهو  
الحادث من لف المسالك المعدنية لحازونيا لان هذه الحازونيات ينشأ عنها انفراد  
عظيم جدا بين اطرافها بخلاف البعد المستقيم لهذه الاطراف فانه لا يتفرد فيازم  
اذن أن القوة الواحدة سواء كانت معدة للضغط او المدة يحدث عنها مزاو قبض  
اكبر مما لو كانت مؤثرة في خيط معدود ومن هنا استعمال السلوك المعدنية  
المنثنية اثناء حازونيا والاشطة الافرنجية المرنة وبيات العربات وما اشبه ذلك  
في كثير من الآلات

ولما كانت الحبال عبارة عن خيوط منثنية اثناء حازونيا كان لها بذلك درجة  
في المرونة تباين درجة مرونة الخيوط الممدودة مدام مستقيما وهذه المرونة  
تتحسن في الآلات لا سيما في ادوات السفن وموادها  
وفي كائنات القرى والارياق اسطوانات طويلة من صفيح مدهون بلون  
البياض على صورة شموع كبيرة فتوضع فيها شموع اعتيادية ويوضع تحت تلك  
الشموع حازون طويل من سلك من الحديد او النحاس الاصفر فينضغط هذا  
الحازون انضغاطا كبيرا اذا كانت الشععة بجبالها لم يتقص منها شيء فاذا حرق منها  
جزء دفعها الحازون ورفعها الى اعلى بحيث تكون قبلتها دائما في قطعة واحدة  
على القاعدة العليا من الاسطوانة الطويلة التي هي على صورة الشععة  
الكبيرة

وما اسلفناه من الكلام الى هنا انما هو في البحث عن تعيين المقاومة التي تكون للاخشاب قبل كسرها بالتأثير الواقع على أليافها عموديا او بضغط الاقبال المؤثرة في جهة هذه الالياف .

ولاشك أنه يلزم الآن معرفة النهاية الكبرى لقوة الاخشاب حتى يتأتى أن نستعمل على الدوام في العمارات والآلات المركبة منها مواد تكون قوتها اعظم من الجهودات التي تقاومها لكن يلزم دائما أن نتجنب في الاستعمال النهاية المذكورة ما أمكن وكذلك في صورة عمل الاشغال التي يراد طول مكثها بل يلزم اجتنابها اكثر من السابقة لان قوة الاخشاب تتناقص دائما بتداول الزمن عليها لاسيما وهناك عوارض كثيرة تطرأ على الاخشاب تفسدها وتغير اوصافها الاصلية .

وتم امر آخر ليس دون المتقدم في النفع بل ربما كان نفعه أعظم وان كان على ما يظهر دون الاول في العمل به وهو البحث عن تعيين ما للاخشاب من المقاومات المتشابهة في صورة ما اذا وقع عليها تأثير قوى من شأنها انها تغير صورتها قليلا وتؤثر في مقاوماتها المنبهة .

وفي بناء العمارات وعمل الآلات والسفن يلزم ان يفرض أن القطع الجسمية القليلة الحجم تبقى على الصورة التي رسمت عليها سيما مضبوطا وهذا فاسد لان القوى الصغيرة لها بعض تأثيرات طبيعية وان كانت لا تدركها حواسنا لصغر حاجتها ولكنهم مع ذلك تنضم الى بعضها فيحدث عنها نتائج ظاهرة جسمية ولنذكر لك شاهدا على ذلك فنقول .

لاشك أن اعظم عمارة يمكن عملها من الاخشاب هي السفينة والالام تنظم في سلك الدونخا القرنجية فاذا اريد انشاء سفينة من الدرجة الاولى في ترسانة فلانبد أن تكون في الارتفاع اعلى من المنازل القرنجية العالية ولا بد ايضا أن تكون مما يحصل القف يرفع ما يلزمهم من المؤونة مدة ستة شهور ومن المدافع بقدر ما يلزم الحصن الخوف ويلزم ايضا أن تكون في الصلابة ملائمة للمتحمل من الاشياء المذكورة وقد اطلقنا هنا اسم الحائطين على جميعها المتخذين من الخشب لان



سمكها ان لم يزد على سمك الحيطان الخارجة من المنازل القرنجية العادية فلا اقل من المساواة لها. ولا بد أن تكون روابطها ومساندها على اختلاف انواعها محكمة الصناعة وكذلك ما فيها من الخحاس والحديد المعدن لحفظ جميع اجزائها وامساكها فهل بعد هذه الوسائل المتينة والوضع المحكم يسع من اطلع عليها أن يشك في بقاء صورة تلك السفينة على حالتها الاصلية بدون تغيير نعم هو في الواقع محال لانها بعد انقضاء عملها ونزولها في البحر نشأ عن عدم تساوى التأثير الواقع من الاثقال التي باطرافها وعن دفع المياه المصادمة لها أن الاجزاء تنحني في جميع طول السفينة ويصير مقعرها على شكل قوس بحيث لو فرضنا وزنا طولها ٦٠ متره كان سهمه في بعض الاحيان نصف متر فاكتر

ولاريب أن مثل هذا التغيير بعد جسيما اذ به لم يتبق السفينة على حالتها الاصلية بل تغيرت تغيرا قويا في سائر صفاتها هذا وان اردت الوقوف على معرفة السهم الذي يبلغ وتر قوسه مترين عند عروض الانحناء المذكور وجدته اقل من عشرين ملية تراو هو مقدار قليل جدا بالنسبة لطول اقل احواله أنه يساوى اعظم قامة من قامات النوع الانساني .

وقد كنت اول من تصدى لتقدير هذا التغيير الغير البين الواقع في الاخشاب فقد رت أولا مقاومة هذه الاخشاب في جميع تغيراتها عند ظهور تأثير تلك المقاومة اعنى حين تتغير صورة الجسم قليلا بما يحمله من الاثقال ولا شك أنك ترى مع القائدة أن ما ظهر بالتجارب الحاصلة في شأن كسر الاخشاب من القوانين وانواع الاختلال اعنى في صورة ما اذا تغيرت صورتها عن اصلها تغيرا عظيما ما يمكن ليس الا نتيجة لازمة للتغيرات الصغيرة جدا التي تبدل للنظر عند انحناء تلك الاخشاب قليلا

ولذلك هنا على سبيل الاجال ما ألقناه من المباحث في شأن لين الاخشاب وقوتها ومرونتها بواسطة التجارب التي حصلت في ترسانة قورسير سنة ١٨١٦ ميلادية وفي ترسانة تولون سنة ١٨١٣ ثم في ترسانة دونكرل في سنتي ١٨١٦ و ١٨١٧ فنقول ان ما ألقناه في تجارب ترسانة قورسير مذكور في الجزء

العاشر من كتابنا المعروف بجرنال الهندسحانة واما الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة تولون فصورتها مرسومة في (شكل ٩) وصورة الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة قورسير مرسومة في (شكل ٢) قبرى في (شكل ٢) نازجة كبيرة مثبتة عليها مسندان اقيان في استواء واحد مسافة ما بينهما تبلغ مترين وهما فيه من صور قطع اخشاب البلوط والسرور والزان والراتنج والصنوبر مرسوم على شكل متوازيات السطوح وهذه المتوازيات السطوح تزيد في الطول على مترين وهى موضوعة بالتدريج

على مسندى **ض و ض** المذكورين وبها يقاس اقصر بعد بينهما وهى بارزة قليلا من الجهتين بحيث اذا اخذت كل قطعة منها في الانحناء لا تقصر حتى تسقط بين المسندين المذكورين

وقد وضعت على هذه المتوازيات السطوح التي سميتها بالمنشورات قصدا للاختصار اتقالا بين المسندين على بعد واحد فانحنى كل من هذه المنشورات نوع انحناء

ومن البديهي أن كل ضلع من اضلاع المنشور مثل ضلع **أ ب ث** او **و ه ف** ينثنى على بعضه (شكل ٢) بحسب المنحنى المرسوم في مستو رأسي والمتجايل بالنسبة لمستوى **ه ب** الرأسى الممتد من نقطة المنتصف التي يكون الجمل واقعا فيها امتدادا عموديا على مستوي الانحناء وهذا المنحنى هو الذى كان يلزم تعيين اجزائه مع اعتبار الواجهة المحدبة من المنشور المنثنى وملاحظتها دائما

وقد لاحظت في جميع ما عملته من التجارب انه متى لم تكن الاثقال كبيرة بالكلية كانت **غ ب** التي هى سهام قسى **أ ب ث** الحادثة عن القاعدة

المنثنية مناسبة لهذه الاثقال

ولكن اذا كانت السهام صغيرة جدا بالنسبة لوزن ثابت من عدة قسى فان انحناء

تلك القسي يكون مناسباً للسهم المقابلة لها مناسبة مضبوطة وقد استنبطنا من ذلك القضية الائية التي توصلنا اليها فيما سبق بالعلوم النظرية وهي أن انحناء الاخشاب الناشئ عن اقبال صغيرة جداً يكون مناسباً لهذه الاثقال وذلك يكون بقياس هذا الانحناء بخط غ ب الذي هو سهم قوس أ ب ث اعني بانخفاض النقطة المتوسطة من القاعدة

فان اذا كانت قطعة واحدة من الخشب تحمل بين مسندين اثقالاً مختلفة صغيرة فان هذه الاثقال تكون مناسبة لنصف قطر انحناء القاعدة في النقطة المتوسطة من تلك القاعدة ويكون هذا الانحناء مناسباً ايضاً لهذه الاثقال الصغيرة جداً

وبعد تعيين نسبة قوة الانحناء المنبهة والثقل الحادث منه هذا الانحناء ينبغي النظر هل مثل هذا القانون يبق على حاله في صورة ما اذا حمل الجسم اثقالاً كبيرة جداً او لا وعليه فما يكون مقدار التغير الذي يعرض لهذا القانون

وقد ذكرنا انواع الخشب الاربعة التي يغلب استعمالها في الفنون مع بيان اسمائها وربما استعمل من البلوط والراتنج ما قطع منذ خمس وعشرين سنة تقريباً كاخشاب السفينة الروسية المسماة مضاييل فانها تحترق سنطاطنة من الميلاد بعد أن استعملت عشرين سنة

ومع ذلك لم يبق هذه الاخشاب على قوتها الاصلية لكن حيث كان المطلوب تعيين القوانين التي تضبط بها قوة الاخشاب ومرتبتها بواسطة نسب عامة لاعلاقة لها بالشدّة الحقيقية للالياف التي على صورة الخطوط ولا بانواع الاشجار واجناسها فان هذه الاخشاب تقي بالمقصود من الاستعمال اكثر من الاخشاب المقطوعة حديثاً وبالجملة فالسر والزان اللذان مضى عليهما بعد القطع سنة واحدة يظهر من مرتتهما أن خواصهما دون خواص الاخشاب التي مضى عليهما بعد القطع خمس وعشرون سنة وهذا يتضح ما ذكرناه وينظم في سلك البدييات

هذا وقد صنع اربعة مناشير او متوازيات سطوح طول كل منها متران وبعض

شيء ومقدار ~~سج~~ها ثلاثة سنخترت ووضع كل منشور منها بالتوالي على مسندين ثم وضع على منتصفه حمل قدره ٤ كيلوغرامات ثم زيد على هذا الحمل حتى بلغ ٨ ثم ١٢ ثم ١٦ وهكذا الى ٢٨ كيلوغراما وقد اثبتنا في رسالتنا الجداول التي يعلم منها اقواس القوس الذي تأخذه القواعد وثانيا الفروق الاولية التي تظهر بين هذه السهام

وبالاطلاع على هذه الجداول يعلم اولاً أن ٨ كيلوغرامات يتقوس بها المنشور بقدر تقويسه باربعة كيلوغرامات مرتين فقط ومثل هذا التناسب يحصل بالانضغاطات الصغيرة

وبالاطلاع ايضا على الجداول المتعلقة بسائر اخشاب البلوط والسرو والزان والراتنج يعلم أن الفروق الاولية الحاصلة بين السهام تكون آخذة في الازدياد دائما

وهذه الفروق وان كانت لا تختلف في الواقع عن خلل هين الا انه اذا وجد فيها فرق صغير جدا اعقبه بدون واسطة في الجهة المقابلة خلل يفوق الاول وحيث ان هذا الخلل لا يزيد عن واحد من عشرة من المليمتر فاذا استعملنا اخشابا محكمة الصناعة وعملنا في ذلك على الطرق الاخرى التي لم نذكرها ترتب على ذلك نتائج تكون فيها الفروق الثانوية ثابتة او متغيرة قليلا (والمراد بالفروق الثانوية الفروق البسيطة او الفروق الاولية الحاصلة بين جلة اعداد)

وعلى ذلك فيمكن أن نعتبر الفروق الثانوية الحاصلة بين الابعاد كانهما ثابتة اذا كانت الاثقال المحمولة على قطعة واحدة تزداد بفروق اولية ثابتة وهذا القانون السهل مطابق بالكلية للتجربة بحيث اذا صنع من البلوط مثلاً قطعة منتظمة على طبق الحدود المعلومة من التجربة فان ما يحصل من النتائج لا يتفاوت الا بقدر ٤ من عشرة من المليمتر ويكون الانحناء الكلي المتحصل مساويا ٦ : ٤ من هذه الاعشار وبذلك يسهل بيان هذا الخلل الهين وهو التفاوت المذكور

وعند الانحناء المنشور يكون على شكل قوس اطول من وتره فهو عند انحنائه لابد أن يترحلق كثيرا او قليلا على المسندين وهذان المسندان عبارة عن ضلعين

من الخشب على طولهما تتزحلق الالياف الخارجة من المنشور تزلجاً غير متواصل بل يكون بانقطاع تلك الالياف ووثوبها ووثوبها ظاهراً كثيراً كان أو قليلاً ولا نفس الشاكالهما يملأه ليس بهاشي مما يخص الفنون حتى الموازين المضبوطة ضبطاً كافياً بحيث يتوصل بها في تحرير الشيء وضبطه الى ما فوق واحد من عشرة من القوسيات في أن كل فرق من الفروق الصغيرة النظرية والحسابية لا يتجاوز الحد المعين لتحرير العمليات وضبطها

ولما اردنا أن نعرف نتيجة معادلات حل كبير جداً يبلغ قدره ٨٠ كيلو غراماً فابلنا النتائج المتحصلة معنابالنتائج المتحصلة من حل يبلغ قدره ٤ كيلو غرامات فقط فوجدنا بمنااسبة ذلك أن السرو يكون سهم قوسه صغيراً اذا كان الحمل كبيراً ومثله البلوط والراينج والزان

ومن هنا النتيجة الشهيرة وهي ان هذا الخشب ينحني أكثر من غيره من انواع الخشب التي تكون مقاومتها المنبهة عند الانحناء صغيرة وان كانت المقاومة المنبهة لاى نوع من انواع الخشب قوية جداً في صورة ما اذا كان الحمل كبيراً بالكفاية كما أن الفروق الثانوية فيها تكون ايضا كبيرة في هذه الصورة

ومن المعلوم أن الزان في غاية من المرونة فلذا كان الخراط يصنع منه قوس مخروطه لانها به تكون منتظمة وكان اعظم المجاذيف والمدارى عند البصارة هو ما يتخذ من خشب الزان لانه يحمل ما يعرض له من الجهود العظيمة والمصادمات السريعة ومنشأ كون الفروق الثانوية عظيمة في الزان هو أن ما يعرض له من الانحناء عند وضع الاثقال عليه لا يمنعه من قبول تأثير المصادمات السريعة ولينه معها ولا يكون به عرضة للكسر

وبعكسه خشب السرو فانه ثقيل لينه وكونه عرضة للكسر كانت فروقه الثانوية غير محسوسة تقريباً فهي على الثلث من فروق الزان

وقد عينا التناقلات النوعية التي تكون لانواع الاخشاب الاربعة المذكورة في التجارب المتقدمة فكانت في الترتيب كالمقاومات التي تعرض عند الانحناء وينتج من ذلك قاعدة مهمة في شأن الاخشاب حاصلها انه اذا كان هناك

سفينتان متحدتان في حجم الخشب لا في نوعه فالمصنوعة من الخشب الثقيل  
يكون تقوسها او انحناءها دون تقوس السفينة المصنوعة من الخشب الخفيف  
لان تقوس السفن يكون على حسب لين اخشابها  
فاذن يلزم أن يكون تقوس سفن بحر بلطق والفلانك اكثرا من تقوس سفن  
البحر المتوسط كما دلت على ذلك التجربة

فعلى ما ذكرناه اذا كان هنالك سفينتان متحدتا الاخشاب ثقلا وقدر الانواع  
فما كان منهما مصنوعا من الاخشاب الخفيفة يكون تقوسها دون تقوس الاخرى  
في الانحناء فتكون اشد صلابة منها

والظاهر أن الشهير دون جرجي جوان وقف على الحقيقة في هذا المعنى  
حيث اراد أن يصنع سفنا من الاخشاب الخفيفة كالأخشاب الصغية لامن  
أخشاب البلوط

وبالجملة فالجاريب المتقدمة المتعلقة بمواد المقاومة المنبهة يؤخذ منها طرق  
حساب النتائج المتشابهة وتحصيلها بدون احتياج الى عمل التجارب ذات  
المصاريف التي تحصل في شأن تكسير قطع الاخشاب وبهذه الطريقة تعرف  
اوصاف الاخشاب التي تلائم الاشغال المتنوعة في الفنون على العموم لاسيما فن  
المعمارات البحرية اجود المعرفة وربما كان تعيين ابعاد قطع الاخشاب من كل  
سفينة لاعلى حسب رأى المعمار واختياره بل على حسب ما يقتضيه مزاج  
المصلحة ويتوصل بهذه العملية الواضحة الى نتائج اعم نفعا واكثر فائدة  
وبعد أن ذكرنا التجارب الكثيرة التي حصلت في شأن قطع الخشب المتحدة  
الصورة تكلمنا على القطع المختلفة السمك والعرض فتوصلنا الى هذه النتيجة  
الثابتة وهي

ان المقاومة الحاصلة عند الانحناء تكون مناسبة لمكعب السمك وقد بينا  
بالتقواعد العلمية حقيقة هذه التجربة

فاذا انثنى متوازي سطوح من الاخشاب فان أليافه الداخلة تنقبض وأليافه  
الخارجة تنبسط ويبقى بينهما ليف متوسط لا يتغير طوله بل يبقى على حاله

مهما كان الخناء متوازي السطوح

ولاجل اثبات تأثير مدة الالياف واتقياضاها اخترع المهندس دو هاميل تجربة بدعيّة وهي انه نشر من المنتصف نشرًا عموديا على اتجاه الالياف ثلاثة ارباع سمك قطعة الخشب ثم ادخل في حرا المتشار خابورا رفيعا جدا من خشب شدة صلابة من خشب البيلوط فاذا اسندت قطعة الخشب من طرفها وكانت لواجهة التي بها حرا المتشار في الجهة العليا وضعت عليها الاثقال ولكن مع كونه نشر ثلاثة ارباعها فالربع الباقي من الالياف يمكنه المقاومة بسبب ما فيه من اللين وقبول الانثناء بحيث تكون القطعة المذكورة باقية على قوتها الاصلية فان كان حرا المتشار غير متوغل وغائر كثيرا كانت القوة كبيرة والا فصيغة ومتى تعين بالتجربة الوضع المضبوط لليف الثابت الذي لا يتغير سهيل بذلك استنتاج نسبة القوى اللازمة لتحصيل المدة والقبض المفروضين في الياف قطعة واحدة من الخشب واغلب ما وقع في طولون ودونه  $\frac{1}{2}$  كرك من التجارب انما كان الغرض منه البحث عن هذا النوع وعمّا قليل نشر ذلك ونشره

وبعد أن حصلت التجربة في تحميل قطع الاخشاب باثقال مجمعة حصلت ايضا في تحميلها اثقالا موزعة على طولها توزيعا منتظما فوجد أن الاثقال سواء كانت مجمعة في منتصف قطعة الخشب او موزعة على طولها توزيعا منتظما تكون فيها نسبة الاسهم الى الانخفاضات الى بعضها كنسبة تسعة عشر الى ثلاثين او خمسة الى ثمانية وهذه النسبة تكون واحدة في الاخشاب المتنوعة الصنف او المختلفة الابعاد

فاذن اذا جعلنا ثقل قطعة منشورية من خشب واحدة فبتضعيف خمسة اثمان السهم الذي يكون لها عند اسنادها من طرفها اسنادا اقيا يحصل السهم الذي يكون لها عند تحميلها ثقلا مساويا لثقلها  $\frac{1}{5}$  لكن بشرط اجتماعه في منتصفها ويؤخذ من هذه القاعدة طريقة سهله في وزن الاخشاب الثقيلة الطويلة بدوّن موازين بشرط أن يكون محكمها ثابتا لا يتغير

وبموجب ما ذكرناه لاشئ اسهل من اعتبار ثقل واحد موضوع في منتصف  
قطعة من خشب كثقل موزع على طولها توزيعا منتظما وعكسه وفوائد ذلك  
كثيرة في الفنون

وقد عينا الخناء قطع الخشب مع مراعاة ابعاد المساند فكانت النتيجة أن كل  
قطعتين من الخشب يمكنهما واحد ينثيان كقوسين سهمهما مناسبان لمكعبات  
ابعاد المساند ولا يخفى أن كل سهم بين المساند يكون كمكعب السهم المقابل له  
وبانضمام هاتين القاعدتين الى هذه القاعدة وهي أن الانحناءات الصغيرة تتكون  
فيها الاسهم مناسبة بالضبط للاجمال تتوصل الى هذه النتيجة الغريبة

وهي أن نفرض قطعتين من الخشب متشابهتين بمعنى أن بعديهما المتناظرين  
متناسبان ونفرض انهما من جنس واحد فاذا اسندناهما من طرفيهما فان  
سهمي القوس الذي يحصل لهما بسبب ثقلهما الاصلى يكونان مناسبين بالضبط  
لمربعي طولي هاتين القطعتين وبناء على ذلك مهما كان المقدار الحقيقي للقطعتين  
المذكورتين فانه يكون لهما في المنتصف نصف قطر واحد من الانحناء  
ولا تختلف هذه النتيجة في صورة ما اذا وضع على القطعتين اثقال مجتمعة  
او متوزعة الا أن هذه الاثقال تكون مناسبة لنفس ثقل هاتين القطعتين

ومثل هذه النتيجة مستعملة غالبا في عمليات اشغال الفنون لان العبارات  
والالات على اختلاف انواعها مناسبة الاجزاء عادة فاذا كان المطلوب  
المقابل بين سفينتين متحدتين في المادة وكانت ابعاد موادهما مناسبة لابعاد هاتين  
السفينتين فانه يستنتج من ذلك حيث لا مانع أن تقوس السفينتين يكون له  
في صورة انحنائهما الاكبر نصف قطر انحناء ثابت مهما بلغ مقدارهما الحقيقي

ثم انه يلزم الان معرفة ما به يكبر تقوس السفن الكبيرة عن الصغيرة في نسبة  
معلومة بقطع النظر عن جميع الاسباب فنقول ان سهم القوس يزداد كربع  
الابعاد الاصلية للسفينة فعلى ذلك يكون مقتضى ما اسلفناه في شأن السفينة  
التي طولها استون مترا وتقوسها نصف متر أن سهم قوس السفينة الصغيرة  
المشابهة لها التي طولها متر واحد عوضا عن أن يكون جراً من ستين يكون ثلاثة



آلاف وسدس جزء من مائة من نصف متروهي نسبة بسيطة تتعلق بالأطوال  
ولنشرع الآن في بيان تكسير الأخشاب فنقول ليست الأخشاب قابلة  
للاقتباس ومد معينين بحيث إذا تجاوزتهما اندقت وتبطلت أو تكسرت  
وليس للقوى التي يحصل بها كسر الأخشاب علاقة مطردة بالقوى التي يحصل  
بها الانحناء بل تختلف باختلاف أنواع النباتات فقد يحدث عن بعض أنواع  
النباتات مقاومة قليلة بالنسبة للانحناء وكثيرة بالنسبة للتكسر وذلك كالقنب  
في النباتات الصغيرة وكالزان والدردار والجوز والرازيق ونحو ذلك في الأشجار  
وقد يكون بعض الأنواع بعكس ذلك فيحدث منها مقاومة كثيرة بالنسبة للانحناء  
وقليلة بالنسبة للتكسر وذلك كالسرو والكابلي ونحوهما وبذلك يتحصل درجة  
ثانية من الأخشاب وهناك أنواع أخرى تكون مقاومتها كثيرة بالنسبة إلى  
الانحناء والتكسر جميعا كصنوبر جزيرة قرسقة والبلوط الشديد الصلابة  
الذي هو أعظم المغروسات بالولايات الفرنسية

وهذه الاختلافات الطبيعية لها أهمية عظيمة في الفنون أذ بها يتعين ما تستعمل  
فيه أقسام النباتات المتنوعة عند توفر الشروط اللازمة في ذلك فلا يستعمل  
في العمارات الدائمة التي يلزم أن تكون موادها ثابتة لا تتغير وكذلك أجزاء  
الآلات المعدة لتحمل مجهودات عظيمة الأخشاب النباتات الشديدة الصلابة  
ويقدم منها خشب البلوط ثم ما كانت مقاومته للانحناء أكثر كأخشاب الدرجة  
الثانية الآن الأولى قصر استعمالها على الأشغال الخفيفة التي الغرض الأصلي  
منها الزينة حتى لا تقع عليها مجهودات عظيمة

وأما أخشاب الدرجة الأولى فينبغي قصرها على الأشغال التي يشترط فيها المرونة  
وذلك كالعربات على اختلاف أنواعها وآلات الزرامة وصواري السفن  
ومجاذيف المراكب الخفيفة وما أشبه ذلك

وإذا أجريت عمليات التجربة والحساب على القوتين اللتين يكونان لأخشاب  
النباتات العظيمة عند مقاومة الانحناء والتكسر عرفت خواص الأخشاب حتى  
المعرفة فاذن يمكن في جميع الأحوال أن تختار من الأنواع ما يكون أتم ملائمة

للاستعمال ولكن ليس هذا الانتخاب سهل الحصول كما قد يتوهم إذا كان المفيد له  
اعانات علمية هينة ليست على ما ينبغي

ولنبعث عن قوة الخشب عندما ومته للتكسير فنقول إذا اخذنا قطعة من

الخشب كقطعة **أ ب ث د ف** (شكل ١) وثيناها على **أ ب ث د ف**

(شكل ٢) فان ليف **أ ب ث** الخارج يمتد وينسط وليف **د ف** الداخل  
يتقبض وينكمش وإذا رسمنا عدة مستقيمان كستقيمان ١١ و ٢ و ٣

القائمة على واجهة **أ ث د ف** (شكل ١) فهما كان الانحناء الحاصل  
لقطعة الخشب فان خطوط ١١ و ٢ و ٣ الخ تبقى دائما مستقيمة

وقائمة مع محيط **أ ب ث د ف** (شكل ٢) فاذن ألياف الخشب عند

انحنائها على بعضها لا يترحلق بعضها على طول البعض الآخر مثلا بعض ألياف  
الخشب المتحصر في مسافة ١٢٢١ (شكل ١) ينحصر أيضا في مسافة  
١٢٢١ (شكل ٢)

والالياف الخارجة التي تمتد والالياف الداخلة التي تنقبض يفصل بينهما  
**م ن** والذى لا يمتد ولا ينقبض فلذا سمي بالليف الثابت

ومدة الالياف خارج ليف **م ن** الثابت يكون مناسباً لبعدها عن هذا الليف  
وكذلك انقباض الالياف داخله يكون مناسباً لبعدها عنه

وقد استنبطنا في النبذة السابقة من هذه القواعد الخواص النظرية المتعلقة  
بمقاومة الاخشاب عند انحنائها او تكسيرها

وهناك اخشاب متعددة النوع والقوة متى ثبتت على اى منحنى كان تكسرت اذا  
امتدت أليافها الخارجة امتدادا تكون النسبة الحاصلة بينه وبين هذه الالياف  
ثابتة

ولنفرض أن قطعة من الخشب منتبئية على محيط ما يز يدسبمكها او يتقص بشرط  
أن يكون ليفها الخارج متجهها على اتجاه المحيط فتي تكرر سلك القطعة المذكورة  
مرتين او ثلاثا او اربعا الخ فان مدة الليف الخارج تتكرر ايضا مرتين او ثلاثا

اواربعافاذن اذاقص منحنى محيط  $\overline{ا ب ث}$  بنسبة ازديادسهم قطعة  
الخشب المتقدمة فان درجة مد البف الخارج تكون واحدة دائما

ومتى ثبتت قطعة خشب قطعة  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٣) مستندة على مسندى  
 $\overline{ا و ث}$  واقع عليها تأثير قوة  $\overline{ف}$  التى هى على بعد واحد من نقطتى  
 $\overline{ا و ث}$  ظهر أن نصف قطر انحناء  $\overline{ا ب ث}$  فى نقطة  $\overline{ب}$  التى هى منتصف  
هذا المحيط يكون مناسباً المكعب بعد  $\overline{ا ث}$  عن مسندى  $\overline{ا و ث}$

وفى الانحناءات الصغيرة جداً يكون  $\overline{ر}$  الذى هو نصف قطر انحناء  $\overline{ا ب ث}$   
مناسباً  $\frac{\overline{ا ث}^3}{\overline{غ ب}}$  يجعل  $\overline{غ ب}$  عبارة عن سهم  $\overline{ا ب ث}$  فاذن يحدث  
$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ث}^3}{\overline{غ ب}} = \overline{غ ب} = \frac{\overline{ا ث}^3}{\overline{ر}}$$

وحيث ان قوة  $\overline{ف}$  مناسبة  $\overline{غ ب}$  فان  $\overline{ف}$  تكون مناسبة  $\frac{\overline{ا ث}^3}{\overline{ر}}$   
ولكن حيث ان القوة اللازمة للانحناء تكون على نسبة مطردة من سهم  $\overline{غ ب}$   
ومنعكسة من مكعب  $\overline{ا ث}$  الذى هو بعد المسندين فاذا جعلنا  $\overline{د}$  رمزاً  
الى عدد ثابت حدث

$$\overline{ف} = \overline{د} \frac{\overline{غ ب}}{\overline{ا ث}^3} \quad \text{و} \quad \overline{ف} \times \overline{ا ث}^3 = \overline{د} \frac{\overline{غ ب}}{\overline{ا ث}}$$

واذا فرضنا قطعة خشب اخرى كقطعة  $\overline{ا ر ث}$  (شكل ٤) سمكها كسمك  
قطعة  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٣) حدث ايضا

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ر ث}^3}{\overline{غ ر}} \quad \text{و} \quad \overline{ف} \times \overline{ا ر ث}^3 = \overline{د} \frac{\overline{غ ر}}{\overline{ا ر ث}}$$

وحيث كان يلزم أن  $\bar{r} = \bar{r}$  في حالة التكسير لزم أن يكون

$$\frac{\text{اث}^{\text{ا}}}{\text{غ}^{\text{ب}}} = \frac{\text{اث}^{\text{ا}}}{\text{غ}^{\text{ب}}} \quad \text{فبناء على ذلك يلزم أن يكون} \quad \frac{\text{غ}^{\text{ب}}}{\text{اث}^{\text{ا}}} \times \text{د} = \frac{\text{غ}^{\text{ب}}}{\text{اث}^{\text{ا}}} \times \text{د} = \text{ف} \quad \text{فاذن يكون} \quad \text{ف} = \text{اث} \times \text{ف} \times \text{اث}^{\text{ا}}$$

انه اذا ثبتت قطعة من الخشب بين مسندين بعدهما متغير حصل التكسير بواسطة تأثير قوة تزداد بتقصان بعد المسندين وبالعكس

واذا التقينا الى كل من سمك  $\bar{b}$  وبعد  $\bar{a}$  معا وجعلنا  $\bar{m}$  رمزا الى عدد ثابت كان مقدار قوة  $\bar{f}$  التي ينشأ عنها الانحناء هو

$$\bar{f} = \bar{m} \times \text{غ}^{\text{ب}} \times \frac{\bar{b}^{\text{ب}}}{\text{اث}^{\text{ا}}} = \bar{m} \times \frac{\text{غ}^{\text{ب}}}{\text{اث}^{\text{ا}}} \times \frac{\bar{b}^{\text{ب}}}{\text{اث}^{\text{ا}}}$$

فاذا بلغت الاخشاب المختلفة السمك الحالة التي يحدث فيها التكسير كان نصف قطر  $\bar{r}$  على نسبة مطردة من سمك قطع الخشب فاذن اذا جعلنا  $\bar{c}$  عبارة عن عدد ثابت حدث

$$\bar{r} = \bar{c} \times \bar{b} \quad \text{فاذن يكون} \quad \bar{f} = \frac{\bar{b}^{\text{ب}}}{\text{اث}^{\text{ا}}} \times \frac{\bar{m}}{\bar{c}}$$

فاذن اذا كان  $\bar{a}$  الذي هو بعد المسندين باقية على حالة واحدة كانت قوة  $\bar{f}$  التي يحدث عنها التكسير مناسبة لمربع السمك

وهذه الخواص عامة في متوازيات السطوح المربعة التي تكسر بمجرد الانحناء انحناء صغيرا جدا والمتوازيات المذكورة اما من الخشب او الحديد او النحاس او الحجارة او نحو ذلك ومن هنا تحدث نتائج مهمة في الصناعة

وعوضا عن أن نستعمل الشواحي والعوارض والاخشاب المربعة على حسب الاصطلاح القديم نجعلها رقيقة جدا اذا كانت اقنية وعريضة جدا اذا كانت رأسية لما في ذلك من مزيد الفائدة

ولنذكر هنا الفرق بين عارضتين موضوعيتين بين مسندين متحدتي الطول وسنذكر  
احدهما ١ وعرضها ٩ (شكل ٥) وعرض الاخرى ٣ وسنذكرها ٣  
(شكل ٦) فنقول

ان مقاومة العارضة الاخيرة تكون مناسبة لعارضها وهو ٣ مضروبا  
في مربعه وهو ٩ فينتج يكون  $9 \times 3 = 27$  هو مقدار مقاومة  
هذه العارضة المربعة عند الكسر ويكون مقدار مقاومة العارضة الرقيقة  
المساوية للمتقدمة في الحجم عند الكسر  $9 \times 9 \times 1 = 81$   
فعلى ذلك تكون العارضة الرقيقة ثلاثة امثال العارضة المربعة في الشدة  
والصلابة

واذا كان هناك قطع خشب او حديد او نحوها متفرقة سواء كان المطلوب  
استعمالها في عمارة او آلة وكان الغرض منها مقاومة الثني ثم الكسر في جهة معينة  
لزم ان يكون سمكها كبيرا في تلك الجهة بقدر الامكان مع تقليل عرضها  
في الجهة العمودية

وهكذا كانت تخشيبات فليبيرت دلويم المهندس الشهير وهو اول من صنع  
تلك التخشيبات واستعملها وكيفية ذلك ان تصف الألواح المتقاطعة الاطراف  
بجوار بعضها بواسطة مسامير ذات برعمة محجوفة فبانضمام هذه الألواح الى بعضها  
يتكون منها تخشيبات خفيفة الا انها متينة صلبة تحصل القباب والنقوف  
وما شبه ذلك

فاذا اقتضى الحال مقاومة الثني والكسر في جهتين عموديتين على بعضهما فلا بد  
من وجود المثانة والوفر معا وذلك باستعمال قطع اخشاب صورة جاسها كصورة  
الصليب اليوناني (شكل ٧) او كصورة (شكل ٨) التي بطرفيها  
ثنيات بارزة جدا ويكثر استعمال هذه القواعد في صناعة الآلات المتخذة من  
الخشب او المعادن

واذا فرضنا ان المستعمل قطع مستديرة فان مقاومتها عند الكسر حيث انها  
مناسبة للعروض البسيطة ومربعات السمك تكون ايضا مناسبة للتطير

مضر وبافي مر بعه اعني في مكعب قطر الاسطوانات غير المحقوفة المستديرة التي يقع عليها تأثير الثاني ثم الكسر

وفي الاسطوانات المحقوفة فوائد عظيمة لكونها تقاوم الكسر مقاومة جيدة وذلك لانتظامها وحسن صورتها وكذلك في المواد الطبيعية ما هو من قبيل هذه الاسطوانات المستعملة في جميع ما تحتاج اليه تلك المواد من المقاومات العظيمة مع صغر موادها جدا وذلك كريش الطيور فانه على صورة اسطوانات محقوفة بالنظر للجزء الشبيه بذراع رافعة صغير الذي يقاوم الاعصاب القوية المعتدة لتضريك الاجنحة واذا قابلت خفة الريش بمتانته وجدت خفته قد بلغت الغاية بحيث يضرب بها المثل

وهذه الخاصية توجد ايضا في الاشياء الاصطناعية كالاعمدة المحقوفة المتخذة من حديد الزهر فان لها زيادة على فائدة مقاومتها في سائر الجهات بالسوية فائدة اخرى وهي جمعها بين المتانة والخفة اكثر من الاعمدة غير المحقوفة ومن هذا القبيل ايضا مساند اسرة العساكر فانها على غاية من الخفة والمتانة وذلك باتخاذ القوائم والعوارض من الخشب على صورة اسطوانات محقوفة وهناك كثير من هذا القبيل

\*(الدرس الخامس عشر)\*

\*(في بيان اصطدام الاجسام)\*

قد سبق ذكر المقاومات غير البينية التي تعرض في كل وقت لتحرك الاجسام المتماسكة على بعضها ولندكر الان نوعا آخر من المقاومة وهو الذي يحصل عند تلاقى جسمين متحركين على حين غفلة كانا مفصولين عن بعضهما بمسافة حينما اتفقا وهو المعروف بالاصطدام او بالالتظام فنقول

ان سائر الاجسام الطبيعية في حال انفرادها اذا وقع عليها تأثير قوة واحدة او عدة قوى فانها تقبل تأثيرها بكيفية واحدة وتكون سرعتها واحدة اذا كانت القوى المتحركة لها متساوية وكان مجسمها واحدا

ولكن اذا تلاقى جسمان نشأ عن اصطدامهما حوادث متباينة كل التباين

والاجسام المعروفة بالصلبة هي التي تبقى على صورتها الاصلية عند اصطدامها  
وكل جسم ثبت له هذه الخاصية اعني عدم تغير صورته عند الاصطدام يسمى  
جامدا وصلبا واما الاجسام الرخوة فهي التي تتغير صورتها بالاصطدام او بمجرد  
الضغط

فاذا اريد تفريق اجزاء جسم رخوا بواسطة ضغط او اصطدام او قنا عليه تأثير  
مقاومة كبيرة او صغيرة بخلاف ما اذا اريد تفريق اجزاء جسم مانع فلا يلزم  
ابقاع تأثير مقاومة ما عليه

وهناك اجسام كالهواء الجوي والغازات على اختلاف انواعها تحتاج الى ضغط  
دائم حتى لا تدفع اجزاؤها المتنوعة بعضها بعضا ولا تباعد عن بعضها بكمية  
لا تعرف حدودها الى الآن

ولنبذة بالنوع الاول من الاجسام وهي الصلبة فنقول من الاجسام الجامدة  
ما لا يلحقه ادنى تغير في صورته ولو وقيا وهذه هي الاجسام التي يصح أن تسمى  
بالاجسام التامة الصلبة ومنها ما يلحقه بغض تغير وقتي يزول بعد الاصطدام  
وهي المعروفة بالاجسام التامة المرونة ومنها ما يتغير جزء من صورته بالاصطدام  
او الضغط وهي المعروفة بالاجسام الرخوة او غير تامة المرونة

ولاجل زيادة التوضيح نفرض أن جسمين بجسمي  $\bar{A}$  و  $\bar{A}$  (شكل ١)  
يتحركان على مستقيم  $\bar{G}$   $\bar{G}$  المار بنقطتي  $\bar{G}$  و  $\bar{G}$  اللتين هما  
مركزا ثقل هذين الجسمين وأن نقطة تماسهما هي  $\bar{B}$  تكون عند  
الاصطدام على مستقيم  $\bar{G}$   $\bar{G}$

فاذا حصل الاصطدام وكانت القوتان الدافعتان للجسمين مؤثرتين على مستقيم  
 $\bar{G}$   $\bar{G}$  المذكور فان محصلتهما تكون مساوية لمجموعهما والفاضلها على  
حسب اتجاههما الى جهة واحدة او الى جهتين متضادتين  
واذا كان مجسم الجسمين واحدا وكانا مدفوعين بسرعتين متساويتين  
ومتضادتين كانا متوازنين لانه حيث كانت القوتان المحركتان متساويتين  
في الجهتين كان فاضلها صفرا

ولما إذا اختلف الجسمان في الجسم أو السرعة فإنه من حيث أن وحدة القوة تدل على المسافة التي تقطعها وحدة الجسم بواسطة هذه القوة في مدة وحدة الزمن يكون العدد الكلي الدال على قوة أحد الجسمين المتحركة هو عدد أحاد مجسم الجسم مضروبا في عدد أحاد المسافة التي يقطعها الجسم مدة وحدة الزمن

مثلا إذا فرضنا أن وحدة القوة هي الوحدة التي تنقل كيلوغراما واحدا إلى مسافة متر واحد مدة ثانية واحدة ظهر لنا قورا أن القوة التي تنقل في مثل هذا الزمن عشرة كيلوغرامات إلى مسافة متر واحد أو كيلوغراما واحدا إلى مسافة عشرة أمتار تكون أكبر من المتقدمة بعشر مرات ويظهر لنا أيضا أن القوة التي تنقل في الزمن المذكور عشرة كيلوغرامات إلى مسافة عشرة أمتار تكون أكبر من القوة المذكورة بمائة مرة وهم جراً

وإذا قدرنا بهذه المثابة القوة المؤثرة في الأجسام المتحركة تحركاً منتظماً بواسطة أثقالها مضروبة في المسافة التي تقطع في مدة وحدة الزمن أعني بواسطة أثقالها مضروبة في سرعتها تحصل معنا ما يعرف بجسمية تحرك الأجسام

فإذا جعلنا م م رمزين بخمسي غ و غ و ق و ن رمزين للسرعتين الدافعتين لهما التحصل معنا كبتا تحركهما وهما م ق و م ن أعني القوتين الدافعتين لهما ولجعل خ كتابة عن م ق و غ كتابة عن م ن

ومعنى تحرك الجسمين في جهتين متضادتين كان فاضل القوتين المتحركتين وهو

م ق - م ن هو القوة المحصلة المتحركة للجسم م + م .  
وحيث أن هذه القوة مساوية للجسم مضروبا في السرعة فالسرعة تساوي القوة مقسومة على الجسم فأن تكون السرعة التي يتحرك بها الجسمان هي

$$\frac{م ق - م ن}{م + م} = \frac{خ - غ}{م + م}$$



وفي الاصطدام الذي اختبرنا تأثيره تكون كمية التحرك الكلية قبل الاصطدام هي  $م ق + م ن$  ولا تكون بعده الا  $م ق - م ن$  فاذن تكون كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية  $٢ م ن$

فعلى ذلك اذا تصادم جسمان متجهان الموجهتين متقابلتين ولم يكونا مرين فان تعينت كمية تحرك كل منهما كانت كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية لضعف اصغر الكميتين المذكورتين

فاذا اريد حينئذ ان لا تنعدم قوة ما في تحرك الآلات لزم ان لا يكون هناك اصطدام بالكلية بين الاجزاء المتنوعة من هذه الآلات المتحركة في جهات متقابلة وهذه قاعدة مطردة ينبغي العمل بها في صناعة الآلات وتحركها فان كل وثبة او تحرك سريع ينشأ عنه ضرران احدهما تنقيص كمية التحرك دائما وثانيهما تغيير صلابة الآلة ومدتها

واذا تحرك الجسمان في جهة واحدة فان القوة المحصلة المحركة للجسم  $م + م$  تكون في مدة الاصطدام  $م ق + م ن$  وتكون السرعة التي يتحرك بها هذان الجسمان هي

$$\frac{م ق + م ن}{م + م} = \frac{خ + غ}{م + م}$$

ولنوضح كيفية تقدير توزيع القوى في اصطدام الاجسام الجامدة بهذه العملية فنفرض ان الجسم غ مجسم قدره ٣ كيلوغرامات والجسم غ مجسم قدره كيلوغرام واحد ونفرض ايضا ان غ يقطع مسافة مترين في مدة ثانية واحدة وان غ لا يقطع في هذه الثانية المسافة بمتر واحد فتكون كمية تحرك جسم غ هي  $م ق = ٣ \times ٢ = ٦$  وكمية تحرك جسم غ هي  $م ن = ١ \times ١ = ١$

فاذا تقر هذا وتحرك الجسمان في جهتين متضادتين حدث  $م ق - م ن$   
 $٦ - ١ = ٥$  و  $م + م = ٣ + ١ = ٤$

فأذن تكون السرعة المشتركة بين الجسمين بعد اصطدامهما  $\frac{1}{2}$  اعني أن كلا من الجسمين يقطع  $\frac{1}{2}$  من المتر في الثانية الواحدة بعد الاصطدام فإذا كان الجسم الصغير له سرعة يقطع بها مسافة ٦ امتلأ في الثانية الواحدة فإنه يحصل

$$٦ = ٦ \times ١ = ٦ \quad \text{فأذن تكون} \quad ٦ = ٦ \times ١ = ٦ \quad \text{و} \quad ٦ = ٦ \times ١ = ٦$$

وبناء على ذلك يحصل التوازن

فإذا اريد اعدام تحرك جسم دفعة واحدة كان لذلك ثلاثة وجوه الاول أن يدفع عليه جسم مساو له في الجسم ويكون سيره اليه بسرعة كسرعته والثاني أن يدفع عليه جسم اخف منه لكن تكون سرعته اعظم من سرعته والثالث أن يدفع عليه جسم اقل منه لكن تكون سرعته ابطأ من سرعته

وفي اشغال الفنون دائماً شواهد دالة على انواع التوازن المختلفة التي تحصل من تأثير الاصطدام بواسطة خشبة او قضيب او مطرقة او عصي ثقيلة قليلا او كثيراً على حسب مجسم الجاد والحيوان الذي يدفع على النوع الانساني وبمكن باستعمال سرعة عظيمة اضعاف حركة الحيوان او الجاد وتأخيرها او سقوطه كما هو الغالب فن ثم نرى الصبيان الذين يسرعون العدو والجري يسقط باصطدامهم من هو اكبر واقل منهم كثير كالأجسام اذا كانوا يعيشون الهوى وناو من هذا القبيل ايضا العرب الخفيفة التي يكون اندفاعها بسرعة عظيمة فانها عند الاصطدام تغلب العرب التي تكون اقل منها اذا كان سيرها هينا

ويستنتج من قوانين اصطدام الاجسام نتائج مهمة تتعلق بالفنون الحربية اقتصرنا في بيانها هنا على فن واحد من تلك الفنون حاصله

(انه عند اصطدام جيوش الخيالة في الحرب تكون الكتائب ذات صف او صفين ثم ترحف بسرعة تتزايد بالتدريج حتى تصادم ما يقابلها من الكتائب خيالة كانت اقربا والغرض هنا معرفة ما يحصل حينئذ بما يخص هذا الموضوع فنقول

ان الجهة التي تكون فيها كمية تحرك الكتيبة اعني مجموع ثقل الخيول وعددها والخيالة والاسلحة مضروبا في السرعة عظيمة تظهر بالضرورة على غيرها

وتظفر بها وتكون كمية التحرك التي تفضل بها الكتيبة الصادمة على الكتيبة  
المصدومة مساويا لفاضل كيتي تحركهما مقسوما على مجموع الكيتين  
ولنفرض أن الكتيبة المهجوم عليها ثبت محلها ولم تنسحب الهوا حتى تصادمها  
الكتيبة الهاجمة فيكون أن كمية تحرك الكتيبة المهجوم عليها تساوي الكتيبة  
مضروبة في سرعة تساوي صفرا فان هذه الكمية تصبح معدومة فلا تكون  
موازنة لكمية تحرك الكتيبة الهاجمة

وقد دلت التجربة على أن الجيوش الخيالة المؤلفة من خيول ورجال شداد ثقيل  
لا يمكنها أن تصبر وتثبت لمصادمة جيوش خيالة أخرى أخف منها لكن إذا كانت  
سرعتها متوسطة فانها ربما توازنت مع الجيوش الخفيفة أو قلبت خيولها  
ورجالها الخفاف لتندفعين عليها بسرعة عظيمة ثم إن الغرض الأصلي من هجوم  
الخيالة هو تحصيل اعظم درجة من السرعة عند المصادمة ولاجل معرفة الكيفية  
التي يتوصل بها إلى ذلك نقول

إن حصول التحركات في وقت الاصطدام لا يتعلق إلا بالكتيبة والسرعة في هذا  
الوقت فيمكن أن تكون هذه السرعة باقية على حالها عند الاصطدام ولو بلغت  
قبل ذلك ما بلغت ليكون التأثير واحدا وإذا كان المطلوب مثلا لتلطيف تحرك  
جسم ثقيل وقع من ث إلى ح (شكل ٢) بسرعة معجلة فلا يلتفت  
عند وصوله إلى ح إلى ما كان له من السرعة في ح و ح و ح الخ  
إذا كانت كمية تحركه واحدة في ح المذكورة أعنى إذا كان متحركا على  
الدوام بسرعه الاجلية ولم يأخذ في مبدئه تحركه سرعة هينة تزداد بالتدريج  
فإن تكون مصادمة السامردان للخابور واحدة إذا كانت سرعته واحدة دائما  
في وقت الاصطدام

فعلى ذلك يوجد في الاصطدام وفر عظيم في القوى إذا كان التحرك في مبدئه الامر  
بطيا بالتدريج وكانت السرعة تزداد بالتدريج بحيث لا تبلغ نهايتها الكبرى  
إلا في وقت الاصطدام

ولندكر لك وفر القوى الذي يحدث في مصادمات الخيالة فنقول إن اعظم جزء

من المسافة المطلوب قطعها قبل الاصطدام يكون قطعه بالهوى بنا خطوة خطوة  
والجزء الثاني يقطع بالهرولة والثالث بالجنب والرابع وهو الاخير بالركض  
والعدو بحيث لا تنقطع فيه حركة الخيل وتكون كلهما في التحرك بحسب واحد  
فاذن يكون الاصطدام في الحقيقة واحدا كالألوان كان للخيول من مبداء الركض  
السرعة التي اكتسبتها اخيرا لكن لا يمكنها أن تقطع مسافة عظيمة بمثل هذه  
السرعة لان ذلك يؤدي الى فتور همتها وانعدام قوتها من غير أن تتجدد فيها قوة  
اخرى

ويظهر أن تطبيق قواعد اصطدام الاجسام على حركات الخيالة في غاية من  
الوضوح والظاهر ايضا انه يمكن ضبطها على اسهل وجه ومع ذلك فلم تكشف  
ويوقف على حقيقةها الا بعد مضي عدة قرون  
وذلك أن الامم الرومانية مكثت في الحرب ثلثمائة سنة وهي لا تعرف تأثير سرعة  
الخيول في قوة المصادمات الواقعة من الخيالة بخلاف خيالة النوميديين الخفيفة  
فانها علمت بهذه القواعد قطرفت بخيالة الرومان الثقيلة في جميع مصادماتها  
وايضالما كانت قلة سرعة الخيالة الرومانية تمنعهم عمالا بدلاهم منه كان امراء  
الرومان الشوالية ينتهزون الفرصة وينزلون على الارض ويقاتلون بجميع كية  
التحرك التي تصدر من الابطال وغول الرجال الذين لا يلحقهم التعب من المشي  
ولامن الجري

وقد مكثت قواعد اصطدام الاجسام المطبقة على حركات الخيالة وعلى نصرات  
فريدريش التي حازها بحسن مراعاته لهذه القواعد مجهولة عند الملتأخرين  
الى القرن الاخير من تاريخ ذلك العصر  
وتجري هذه القواعد ايضا في حروب القرابة وسائر الجيوش على اختلافها  
لا سيما في الحروب التي تكون فيها الكاثب عظيمة وليس هذا محل بسط الكلام  
على هذه القواعد فانها مما يخص المدارس العسكرية بدون غيرها  
هذا وقد اعتبرنا فيما سبق الى هنا الاجسام المتصادمة كأنها نقط مادية ولنعتبر  
الآن امتدادها وصورتها حتى نتضح لنا احوال توازنها وتحركاتها فنقول

إذا فرضنا أن جسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  (شكل ٣) يتحركان في جهة واحدة  
 اوجهتين متقابلتين على اتجاه مستقيم  $\overline{غ}$  الواصل بين مركزي النقل ثم فرضنا  
 أن سطحى هذين الجسمين عمودان في قطعتي  $\overline{ث}$  و  $\overline{ث}$  على مستقيم  $\overline{غ}$  المذكور  
 فإن القوة التي تصادم بها جسم  $\overline{م}$  مع جسم  $\overline{م}$  تتعدم بواسطة سطح  $\overline{م}$   
 وكذلك القوة التي تصادم بها جسم  $\overline{م}$  مع جسم  $\overline{م}$  فإنها تتعدم أيضا  
 بواسطة  $\overline{م}$  هذا إذا كانت كمية تحرك الجسمين واحدة

ولنفرض الآن (شكل ٤) أن سطحى الجسمين مائلان بالنسبة للمستقيم  
 $\overline{غ}$  إلا أنهما متوازيان في  $\overline{ث}$  و  $\overline{ث}$  الموضوعتين على مستقيم  $\overline{غ}$   
 الواصل بين مركزي نقل جسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$

وهذان الجسمان يتماسان عند الاصطدام (شكل ٥) وليكن  $\overline{ا}$   
 و  $\overline{ا}$  رمزين إلى جزئي مستقيم  $\overline{غ}$  الدال على كميتي التحرك  
 الدافعتين لجسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  ولتد  $\overline{ب}$  و  $\overline{ب}$  عمودا على الاتجاه المشترك  
 بين جسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  في  $\overline{ث}$  ثم تد  $\overline{ا}$  و  $\overline{ا}$  عمودين على  
 $\overline{ب}$  و  $\overline{ب}$

فإذا حصل الاصطدام تحركا أو لا جسما  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  تحركا مستقيما  
 في جهة  $\overline{غ}$  بسرعة مشتركة مقدارها  $\frac{\overline{ا} + \overline{ا}}{\overline{م} + \overline{م}}$   
 وثانيا يدور  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  حول مركزي ثقلهما بسرعة مساوية بالتناظر  
 $\overline{ب} - \overline{ب}$  و  $\overline{ب} - \overline{ب}$  و مقسومة على مقدار  
 انحنى  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$

ويؤخذ من هنا أن الجسمين يتصلان عن بعضهما بعد الاصطدام في صورة  
 ما إذا لم يكن سطحهما عمودا على المستقيم الممتد من مركزي ثقلهما  
 وهناك صورة أصعب من ذلك وهي صورة (شكل ٦) لا تكون فيها نقطة

نقاس الجسمين عند الاصطدام بوجوده على المستقيم الواصل بين مركزي ثقل  
 غ و غ

ولما انهمنا الكلام على احوال الاصطدام في صورة ما اذا كان الجسمان متجهين  
 على مستقيم واحد ناسب أن نكلم عليه في صورة ما اذا كانا متجهين على خطين  
 بينهما زاوية كما و يتلاقيان في نقطة ١ (شكل ٧) فنقول لتكن ح و خ  
 هما القوتان اللتان على كيتي التحرك اللذان افعتين للجسمين فاذا رسمنا متوازي  
 الاضلاع وهو ا ب د ث الذي ضلعا وهما ا ب و ا ث مناسبان  
 لقوتي ح و خ كان وزه وهو ا د دالا على كمية التحرك الدافعة  
 للجسمين المتلاقين في نقطة ١ وعلى الاتجاه المشترك الذي يتبعه هذان  
 الجسمان بعد الاصطدام اذا لم يكونا مرين فاننا اذا جعلنا م و م رمزين  
 للجسمي الجسمين فان سرعتهما بعد الاصطدام تعلم من  

$$\frac{اد \cdot م + م \cdot ح}{م + م}$$

هو عبارة عن كمية التحرك

وتكون قوانين توصيل التحرك واحدة اذا كان كل من الجسمين يتحرك على منح  
 متواصل عوضا عن تحركهما على مستقيم واحد لانهما يقطعان في الزمن القليل  
 الذي يعقب الاصطدام مسافة تنطبق على مستقيم صغير بماس للمنحنى في النقطة  
 التي يحصل فيها الاصطدام

فعلى ذلك اذا اخذنا مثلا بندولين بسيطين كبندولي ح و ع  
 (شكل ٨) متحدين في الطول فهما كان مجسما هذين البندولين فان قوانين  
 الاصطدام تصير عين القوانين التي توجد في صورة ما اذا كانا يتصادمان معا  
 في الوضع الذي يكون فيه كل من خطيهما رأسيا لان جسمي ح و ع  
 يصلان الى هذا الوضع يكون احدهما يقطع خ ح والاخر يقطع غ غ

المماسين في ح و ع لمستقيم ط ط  
 فاذا رفعنا حينئذ الى ارتفاع واحد من خ و غ مجسما ح و ع

المتساويين فانهم ما يزلان في زمن واحد بسرعة واحدة الى وضعي ح و ع  
فيتصادمان فيهما لكن حيث ان الجسمين المضروبين في سرعتيهما متساويان  
هنا من الجهتين فان التوازن حينئذ يكون حاصلا ولا يتحرك الجسمان بعد  
الاصطدام

فاذا كان احدا الجسمين كبير احصل التحرك في جهته على حسب القانون المعلوم

$$\text{من معادلة } \frac{م ق - ٧ م}{م + م}$$

ولنختبر الآن اصطدام جسم يتحرك تحركا مستقيما مع جسم يتحرك وهو دائر  
على نفسه فتقول

لنفرض أن جسما بجسم م (شكل ٩) مركز ثقله في غ يدور حول  
محور ث الابين بنقطة ث وقد اثبتنا في الدرس السابع من هذا الجزء  
انه يوجد على امتداد مستقيم ث غ نقطة كنقطة ث فهذا يمكن  
أن نفرض دائما أن مجسم جسم م يكون محصورا بتمامه في نقطة ث  
ويكون زيادة على ذلك مدفوعا بساير كمية التحرك التي تكون للجسم بدون تغير  
سرعة هذا الجسم المتزوجة ولنفرض ايضا أن جسم م يعارضه عند تحركه  
مانع مثل م وانه في نقطة آ التي يعرض فيها هذا المانع للجسم يكون سطح  
المانع و سطح الجسم عمودين على خط ث آ العمودي على ث ث فينعدم  
جميع تحرك الجسم بسبب هذا المانع الثابت بالفرض فاذا بقي الجسم ساكنا  
بواسطة تأثير الالتطام وعند الاصطدام لا يكون محور ث ثابتا وتعرف  
نقطة ث المذكورة بمركز الالتطام

فاذا كان المانع الثابت المدلول على مقاومته بحرف ف على وجه بحيث  
يكون بعد ث اكبر من ث ث (شكل ١٠) او اصغر منه (شكل ١١)  
فان محور الدوران تعرض له مقاومة من تأثير الاصطدام

وجسم م الواقع عليه تأثير قوى ف و ف يكاد ينثنى أو ينكسر  
بين ث و د (شكل ١٠) وكذلك بين ث و ث (شكل ١١)  
فيحدث بموجب توازن القوى المتوازية

$$ف \times ث = ث \times ف$$

وزيادة على ذلك يكون تأثير ف الحاصل من المحور بواسطة الاصطدام  
مساويا ف - ف (شكل ١٠) و ف - ف (شكل ١١)

وحينئذ فكلما كان الاصطدام حاصل على مستقيم اف ولم يكن على  
بعد من ث = ث عرض لمحور ث الثابت مقاومة من الاصطدام

فاذا كان ث د (شكل ١٠) اكبر من ث د دفعت مقاومة  
الاصطدام المحور الثابت الى جهة مضادة لجهة دوران جسم م واذا كان

ث د اصغر من ث د دفعت مقاومة الاصطدام المحور الثابت الى جهة  
دوران جسم م وهذه النتائج تستعمل بدون واسطة في اشغال الفنون

فنستعمل غالبا المطارق والمقارع التي تتحرك تحرك دوران لاجل تحصيل  
الاصطدامات \* ولكيلا يعرض لمحور المطرقة وهو ث (شكل ١٢)

مقاومة ما عند الاصطدام يلزم استيفاء جميع الشروط الموجودة في شكل ٩  
فعلى ذلك اذا كان م هو الجسم الموضوع على السندان و ا هي النقطة التي

يقع عليها دق المطرقة كان مستقيم اف العمودي في نقطة ا على سطح  
المطرقة مارا بنقطة ث التي هي مركز الالتظام وكان مستقيم ث ث

عمودا على ا ث

فاذا حرك الصانع المطرقة بيده (شكل ١٣) فان لم تكن جميع الشروط المذكورة  
مستوفاة عرض اليد مقاومة مؤلمة وتكون تلك اليد مدفوعة الى جهة مضادة

لجهتها او مضغوطة في جهة التحرك الحاصل له على حسب قرب النقطة التي يقع  
فيها الاصطدام قريبا قليلا او كثيرا وبعدها كذلك عن محور دوران المطرقة



ثم ان الاصطدام المستقيم لجسم يستعمل في تحريك بندول يرتفع حول محور  
ومثل هذا التأثير يقع في التجارب الحاصلة في شأن البندولات الطولية  
فلنفرض كتلة مجمعة من الخشب ككتلة م (شكل ١٤) محاطة بروابط  
من حديد ومعلقة في محور ث بقضبان من حديد ايضا

ونطلق رصاصة او كتلة ك في بندول م ولا بد ان نخذفها بحيث  
تكون على اتجاه المستقيم المار بنقطة ث التي هي مركز الالتظام فاذا وقينا  
بذلك لم يعرض لها مقاومة ما على محور الدوران وهو ث وتكون سرعة  
البندول المتزوجة مساوية  $\times$  ث ومقسومة على مقدار انحراف  
البندول الذي تدخل فيه الرصاصة

فاذا علمت مقدار انحراف البندول ومجس م و و وبعد ث علمت  
بواسطة عملية سهلة سرعة كل من هذين المجمعين عند الاصطدام وهذه هي  
الكيفية المستعملة في قياس سرعة المخدوفات قياسا صحيحا ولهذا القياس  
اهمية عظيمة في فنون الطوبجية

وقد تقدم ان القوى تنعدم كلما كان تأثيرها واقعا في جهات متقابلة فاذا كان  
المطلوب ان القوى لا تنعدم كما هو الواقع في اغلب الآلات لزم ان تجتنب  
في هذه الآلات حسب الامكان الاصطدامات الناشئة من التمرسكات  
في جهات متضادة

ويلزم لذلك ايضا اجتناب الاحتكاكات التي عوضا عن ان تكون متواصلة  
وغير ظاهرة تكون حاصلة بواسطة رجات ووثبات ومقاومات ينشأ عنها دائما  
بعض اصطدامات مضرّة وحيث ان هذه الاصطدامات لها دوى وقرقة  
ويتخلل بها ما نلاحظه علم من ذلك ان اجود الآلات هو ما يكون تحرّكه صادرا  
مع الانتظام واللفظ بدون قرقة ولا اضطراب

ومن اهم الاشياء ما يستعمل من الاحتراسات في اجتناب مثل هذه  
الاصطدامات في الطارات المضرّة

فلنفرض (شكل ١٥) أن ضرس د من طارة و ينقلت في وقت دفعه لضرس د من طارة و قبل أن يصل ضرس د الى ضرس د من الترس الصغير فلا يجدها هذا الترس حينئذ ما يعارضه فاذا وقع عليه تأثير قوة تحرك تحركا تقهقريا حتى يتلاقى د مع د فاذن يحصل الاصطدام في جهتين متضادتين ويعقب ذلك انعدام كمية التحرك ويلزم بمقتضى القاعدة المطردة أن يصل ضرس د الى د قبل انفصال ضري د و د عن بعضهما

ولتذكر لك هنا الملحوظات التي لاحظناها في شأن الاصطدامات الصغيرة الحادثة من تحرك السفن حيث انها تجري في سائر انواع الآلات فنقول انه بموجب ما سبق اذا كانت السفينة مستقرة عرض لجزءها الاسفل انكماش وانقباض وجزءها الاعلى انبساط وامتداد وحدث عن هذين التغيرين اولاً امتداد الياف الخشب او انكماشها وثانياً تلف قطع الاخشاب المتلاصقة وانفصالها عن بعضها وثالثاً اتناء المسامير الممسكة لها او تكسرها وكلما تزايدت مقادير القوى المغيرة تزايدت تأثيراتها ايضاً غير انها فيما بعد لا تتناقص بنسبة واحدة عند تناقص هذه المقادير لان التغير المذكور انما يقع في الاجسام غير تامة المرونة

فعلى ذلك اذا تناقص تقوس السفينة اعتدلت المسامير واستقامت قليلاً وقطع الاخشاب التي انفصلت عن بعضها لا تتصل ثانياً الا من بعض اجزائها وكذلك الالياف الممتدة فانها تنكمش انكماشاً كافياً والالياف المنكمشة لا تعود الى طولها الاصل بالكلية

فاذن لا يوجد عظيم اتحاد بين مواد السفينة ومثل هذا العيب يؤثر في اخشاب السفن تأثيراً شديداً

وانحلال هذه المواد لا يمنع من أن كل جزء منها يتحرك بدون معارض قليلاً او كثيراً على حسب الاجزاء التي كانت مجتمعة معه في الاصل قبل الانحلال ويطلق على مجموع هذه التحركات الصغيرة اسم تحرك الاخشاب

واذا فرضنا أن القوى المغيرة مؤثرة في سفينة جميع اجزائها متحركة فان أول تأثيرها يكون عبارة عن تحويل مواد تلك السفينة عن اوضاعها بحسب ما تأخذ من الاتجاهات بواسطة تحريكها ولا يعارض تحويل تلك المواد المقاومة انبراسها والى هنالم ينقص شيء من كمية القوى التضاوية الدافعة للسفينة بتمامها وانما يعرض لكل جزء عند تحوله عن وضعه بدون معارض على الوجه المذكور سرعة فاذا حصل له مقاومة شديدة من بقية الاجزاء أحدثت عن هذه السرعة اضطدام

فعلى ذلك لا يكفي الضغط الهين في كون اجزاء السفينة تؤثر على بعضها بحيث تمتدوا وتمكش وبالاضطدام تزيد شدة القوة للاضطرابية زيادة بالغة وبذلك تبقى القوى المغيرة على حالها ويزداد تحريك قطع الخشب على الدوام وينشأ له ثمنا عن ذلك تأثيرات تصير بالتدريج خطيرة مضرّة

ثم ان ما ذكرناه من الاضطدامات هو ناشئ بالضرورة عن السرعة الغير البينة في صورة التغيرات البطيئة الواقعة في وسط السفينة وتكون شديدة سريعة في صورة ما يحدث عن القوى الطبيعية من الاضطراب

ولا يلزم أن تطبق على صناعة السفن ما يمكن تطبيقه على تشييد عمارة في الارض لا ينضم فيها تأثير القوة المغيرة الى تأثير قوة تناقل المواد وانما يلزم اعتبار السفينة في حالة سيرها على البحر المضطرب كثيرا او قليلا او في حالة اضطرابها بالرياح القوية كثيرا او قليلا الا ان تأثيرا كثيرا او قليلا او الدافعة كثيرا او قليلا

فيعلم من ذلك أن مقادير القوى التي يحدث عنها تقوس السفينة تتغير في كل وقت حتى انها عند التقدم والمؤخر تكون بالتعاقب موجبة وسالبة فيلزم اذن أن نعتبر السفينة المضطربة بالبحر والرياح كثنان لا يزال عند عومه على وجه البحر المتعرج ينحني وينثني في المستوى الرأسي من طريقه ويسير الى جهة الامام فيحدث عن سيره تلك الانابة خط منعوج

ثم ان قوانين اضطدام الاجسام الصلبة المجردة عن المرونة هي كقوانين الاجسام الرخوة وما يعرض من التغير للاجزاء المتنوعة من هذه الاجسام لا يغير شيئا

من المتحرك في وقت الاصطدام وليس الامر كذلك في اصطدام الاجسام المرنة  
فاذا تقابل جسمان على غاية من المرونة وكانا متحركين مجتمعا وسرعة فوضا عن  
كونهما يتوازنان ويلازمان السكون بعدم كل منهما قوة الاخر ويحول اليه  
جميع ماله من القوة الخاصة به فعلى ذلك يتقهقر كل منهما في طريقه بما كان له  
من السرعة قبل الاصطدام ولا تغيرية تحركه وهذه الخاصية للاجسام المرنة  
المتحدة في الجسم والسرعة لا تتغير بتغير المجسمات والسرعة بحيث يبقى مجموع  
كميات التحرك على حالة واحدة قبل الاصطدام وبعده

ولذلك هنا بعض تطبيقات على هذه القاعدة فنقول لنفرض أن جسم أ  
الساكن (شكل ١٦) يصدمه جسم ب المتحد معه في الجسم وهو  
م وفي السرعة وهي ق فتكون كمية التحرك صفرا بالنسبة الى جسم أ  
و م ق بالنسبة الى جسم ب فينتد تكون الكمية المذكورة بالنسبة  
للجسمين هي م ق فاذا نوصل جسم ب الى جسم أ سائر كمية  
التحرك هي م ق غير أن جسم أ لا يمكنه أن يوصل الى جسم ب  
الا كمية تحرك تساوى صفرا اعني معدومة فاذا نعدم جسم ب كمية تحركه  
بتمامها يبقى ساكنا واما جسم أ الذي اخذ جميع كمية تحرك جسم ب  
واتحد معه في الجسم فانه يتحرك بالسرعة التي كان يتحرك بها جسم ب  
ونفرض الآن أن هناك (شكل ١٧). ثلاثة اجسام مرنة ومتحدة الجسم  
كاجسام أ و ب و ث وليكن جسم ث هو المتحرك دون  
غيره فبصادمة هذا الجسم لجسم ب يوصل اليه جميع كمية تحركه ويبقى  
ساكنا وكذلك بصادمة جسم ب لجسم أ يوصل اليه جميع كمية تحركه  
ويبقى ساكنا فاذا نيتحرك جسم أ دون غيره بكمية التحرك التي كان  
يتحرك بها جسم ث

ويتحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربعة اجسام او خمسة الخ  
متساوية وكان الاخير منها هو المتحرك دون غيره فالاجسام المتوسطة تبقى بعد

الاصطدام ساكنة دائما كالجسم الاخير يختلف الجسم الاول فانه يتحرك ويسير  
الى الامام بجمع كمية التحرك التي كان يتحرك بها الجسم الاخير  
وتتضح هذه الحقيقة الميكانيكية بواسطة احكام من العاج مثل **ا** و **ب**  
و **ث** (شكل ١٨) فعلق بخيوط علي صورة بندولات  
فاذا ابعدت **ا**ولا كرتين احدهما عن عین الخط الرأسى الممتد من نقطة  
التعليق والاخرى عن شماله وخليلا ونفسهما للوقوع في زمن واحد فانهما يصلان  
الى الخط الرأسى في زمن واحد بسرعة واحدة ثم يتقهقران في طريقهما  
بالسرعة المذكورة

فاذا كان العاج تام المرونة ولعب به في القراع فان الاكر تصعد بالضغط الى ارتفاع  
مبدى سيرها فاذا وقعت كلها من هذا الارتفاع في زمن واحد فانها تصادم ايضا  
بسرعة واحدة ويحدث من ذلك التحرك الدائري غير ان العاج ليس من الاجسام  
التامة المرونة لانه لا يوجد في الاجسام الطبيعية ما هو بهذه المثابة فاذا تصعد  
الاكر عقب كل اصطدام شيئا قريبا الى اعلى ثم تنعدم عقب حصول عدة رجاء  
كميات تحرك تلك الاكر بالكلية

واذا علقت ثانيا ثلاث اكر من العاج وكانت مماسة لبعضها البعض ووقعت الكرة  
الاولى وهي **ا** الى **ح** (شكل ١٨) ثم خليت ونفسها للوقوع فان الكرة  
المتوسطة وهي **ب** تبقى في هذا الوقت ساكنة وتصعد الكرة الاخيرة وهي  
**ث** الى **خ** في ارتفاع نقطة **ح** ثم تقع ثانيا وتوصل تحركها بواسطة  
كرة **ب** الى كرة **ا** فتصعد الى **ح** ثم تهبط كالكرة الاولى وهم جزا  
ويتصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هنالك اربع اكر او خمس او ست  
او اى عدد كان من الاكر

ولا تقتصر هنا على ذكر الاصطدام المستقيم في الاجسام بل تذكر ايضا قوانين  
اصطدامها المنحرف منقسمين في ذلك على فرض ان احد الجسمين ثابت  
ومستويا لا تحركوى روما للاختصار حسب الامكان فنقول  
انه في الوقت الذي يتلاقى فيه في نقطة **ث** كرة **ض** (شكل ١٩)

المدفوعة بقوة أو المتحركة مع المستوى الثابت تدور هذه الكرة حول نقطة  $\theta$  بقوة تساوي  $\overline{او} \times \overline{ش ف}$  الذي هو خط عمودي على  $\overline{اوف}$  ولترسم مستطيل  $\overline{اش وك}$  الذي ضلعا  $\overline{وك}$  و  $\overline{اش}$  موازيان لمستوى  $\overline{من}$  وضلعا  $\overline{اخران}$  وهما  $\overline{اك}$  و  $\overline{وش}$  عمودان على هذا المستوى

فحيث ان قوة  $\overline{او}$  تصل الى  $\overline{وش}$  و  $\overline{وك}$  اذا كانت الكرة والمستوي جسيمن مجزئين عن المرونة لم يبق معاذن الا  $\overline{وك}$  واماقوة  $\overline{وش}$  التي هي عبارة عن ضغط الكرة على المستوى الثابت فيعدهما هذا المستوى

وبواسطة الاحتكاك الحاصل لمستوي  $\overline{من}$  من ضغط  $\overline{وش}$  تنحرف الكرة المدفوعة بقوة  $\overline{ك و}$  والموازية لهذا المستوى وقد تقدم في الدرس الثالث عشر بيان الكيفية التي بها يمكن تقدير التأثيرات الحاصلة من هذه القوة

وحيث ان الاحتكاك يمنع الكرة من التزحلق على مستوى  $\overline{من}$  فانها تتدحرج على هذا المستوى كما تتدحرج العجلة على الارض فاذا كان المستوى بجسمه مصقولا بالسوية وكانت مقاومة الاحتكاك واحدة بالنسبة لضغط

$\overline{وش}$

فاذا لم يكن للجسم الذي يصادم المستوى محيط مستدير فانه يتدحرج على هذا المستوى على وجه عجيب يصعد مركز ثقله ويهبط بالتعاقب ويحدث من ذلك مقاومات غير متساوية ومبهمة كثيرا او قليلا تقتصر على ذكرها هنا فنقول ان هذه المقاومات غير المتساوية تدل على أنه يلزم في توصيل الجهودات المتواصلة مع الانتظام الى طول المستوى الثابت بجسمه أن نستعمل دائما اجساما محيطياتها مستديرة كالاكر والاسطوانات والمخاريط وسطوح الدوران

على العموم

فاذا كان معنابه لاجن الجسم الصلب جسم رخو يصادم المستوى الثابت كانت المسئلة تمامضة يلزم فيها معرفة الصورة التي يأخذها الجسم الرخو بعد الاصطدام غير أن هذه الصورة قل أن استعملت مع الفائدة في الفنون الميكانيكية

ولا يقع مثل ذلك في اصطدام الاجسام المرنة فاذا كان جسم تام المرونة بجسم أ يصادم مستوى من (شكل ٢٠) فان قوة أو الدافعة له تنقل الى قوتين اخرين احدهما و ش التي تدفعه عموديا على مستوى

من والثانية و ك التي تؤثر فيه بالتوازي لهذا المستوى وحيث ان هذه القوة الاخيرة لا يمنعها مانع فانها تستقر على تأثيرها بعد الاصطدام فاذا يتحرك الجسم دائما مع سرعة واحدة بالتوازي لمستوى من الثابت

وحيث ان قوة و ش مؤثرة عموديا على من كان يجري عليها قوانين الاصطدام المستقيم في الاجسام المرنة فاذا يلزم أن تحوّل قوة و ش بتجاهها الى المستوى الثابت وتعود الى قطعها الاصل بواسطة مقاومة هذا الجسم المساوية دائما للتأثير فيصعد حينئذ الجسم المرن المدفوع بقوة مساوية لقوة و ش غير أنها تكون متجهة الى جهة مضادة لجهتها وبناء على ذلك اذا وصل جسم مرّن بجسم و يتحرك منتظم مستقيم الى وضع بحيث انه

في زمن معلوم يقرب من و ك موازيا للمستوى الثابت ومن و ش عموديا على هذا المستوى بعد حصول الاصطدام فان هذا الجسم يقرب في مسافة واحدة من الزمن من و ك = و ك موازيا للمستوى

الثابت ومن و ش عموديا على هذا المستوى وحينئذ يكون خط و أ الذي هو عبارة عن اتجاه المسافة المقطوعة ومقدارها هو وتر الشكل

المتوازي الاضلاع القائم الزوايا هو شوك أ المساوي شوك أ  
فان تكون زاويتا أوش و أوش متساويتين

فعلى ذلك اذا صادم جسم تام المرونة مستويا ثابنا مصادمة على حسب زاوية  
تعرف بزاوية السقوط فانه يكون ملازما لسرعته وياخذ اتجاهها جديدا  
يبعده عن هذا المستوى ابعادا على حسب زاوية تعرف بزاوية الانعكاس وهي  
مساوية لزاوية السقوط

وقد سبق أن العاج قريب جدا من الاجسام التامة المرونة فلذا اذا صادت  
الكرة المتخذة من العاج مستويا فانها تزد مع سرعتها الاصلية بحيث تكون زاوية  
الانعكاس مساوية تقريبا لزاوية السقوط وبالجملة فلعب البليارد مبنى على  
معرفة قانون اصطدام الاجسام المرنة

ولنفرض مثلا أن خانة من خانات البليارد كخانة ث (شكل ٢١)  
موضوعة على وجه بحيث تناسب كرتي آ و ب فاذا لدنا آ و لا مستقيم  
ث ب حتى وصل الى خط م ن وثانيا مستقيم آ ه حدث معنا  
أن زاوية م ه ب = ن ه ب فاذا دفعا كرة آ الى نقطة ه  
انعكست على اتجاه ه ب وصادمت ب مصادمة مستقيمة ثم سكنت  
واما ب فانه انتقل الى هذه النقطة مع سرعة كسرعة آ بتمامها عند  
الاصطدام في اتجاه ب ث الذي يوصل الى الخانة وليست كرة ب  
في الغالب على اتجاه ث ب القائم الموصل الى الخانة كما في شكل ٢٢  
فيلزم اذن أن كرة آ بعد أن ترمى الى ه وتنعكس بحيث يكون آ ه ن  
= م ه آ تصل الى وضع آ لتصادم كرة ب ثم تعود الى خانة ث  
(وهذا الشرط يتحقق اذا كان مستقيم م ه ن المماس لكرتين في نقطة  
تماسيهما موضوعا على وجه بحيث تكون الزاويتان الحادتان منه مع مستقيمي  
ب ث و آ ه متساويتين)



ويؤخذ من ذلك أن لعب البليار يستلزم أن يكون النظر متمركزا على تصور  
الاتجاهات والزوايا وأن تكون اليديا متمركزة على ما يرشد هذا النظر إليه  
وفي القرن السابع عشر استعمل الشهير ووبان طريقة في اطلاق المدافع لها  
علاقة بانعكاس الاجسام المرنة وهي انه اذا اطلقنا كرة متوسطة الثقل ككرة  $\alpha$   
على اتجاه  $\alpha\beta$  (شكل ٢٣) المرتفع قليلا عن الافق فان تلك الكرة  
الواصله الى الارض بواسطة التناقل تقع في نقطة  $\alpha$  على حسب زاوية أكبر قليلا  
من زاوية  $\beta\alpha\eta$  وتنعكس حينئذ على حسب زاوية  $\beta\alpha\eta$  المساوية  
زاوية  $\beta\alpha\eta$  تقريبا ثم تقع مرة أخرى لترتفع ثانيا فاذا وجد حينئذ على خط  
 $\alpha\eta$  عدة موانع يلزم ازالتها فانطلق عليها الكل عدة مرات حتى يحصل بذلك  
الاصطدام والانعكاس او الوثوب وليس حصول الانعكاسات المتوالية  
او الوثبات مقصورا على صورة ما اذا ضربنا بالكرة على اجسام صلبة كالحدران  
المبنية بالحجارا والاختاب والحصون المتينة والسفن اوضربنا بها على ارض  
مبلطة او برية متسعة او ثلوج كافعله العساكر الفرنساوية في واقعة اوسترلنس  
بل تحصل ايضا صورة ما اذا رمينا اجراما مرنة على سائل تضرب سطحه  
على حسب زاوية سقوط صغيرة  
ومثل ذلك يعرفه حق المعرفة الصبيان الذين يرمون على وجه الماء اجارا  
مسطحة فان هذه الاجار تبت ويحدث عنها سمع انعكاسات او ثمانية او عشرة على  
حسب كبر قوة الرامي وصغرها وخفة يده عند الرمي  
وفي الضوء الواقع على الاجسام الرخوة شاهد لطيف على ما للاجسام المرنة من  
الانعكاسات المهمة لان زاوية الانعكاس في هذا الوقوع مساوية دائما لزاوية  
السقوط واعظم الآلات القرنجية ضبطا هو ما تتحقق به مرونة تلك الاجسام  
وقد تقدم في مجلد الامعلاط ان الاجسام الصلبة والاجسام الرخوة ينعدم  
جزء من قوتها اذا كانت اتجاهاتها متضادة وذلك متعذر في الاجسام التامة  
المرونة ونادر في الاجسام غير تامة المرونة

وهذه المزية المختصة بالاجسام المرنة دون الاجسام الصلبة والرخوة جعلت استعمال تلك الاجسام نافعا جدا في علم الميكانيكا مثلا اذا لاحظنا تحرك العربات التي تعرض لعجلات ذاتها اصطدامات كبيرة او صغيرة من الاجزاء البارزة في ممرها وجدنا ان الانفع في تلك العربات ان تحمل صناديقها او وسقها على يايات لان تأثير هذه اليايات يحفظ جزءا من القوة الاقية كان يعدمه الاصطدام فيستعمل حينئذ هذا الجزء في تحرك العربة المتزايد واما جزء القوة الدافع للعربة من اسفل الى اعلى بواسطة تأثير اليايات التي تنثنى على نفسها حين تأخذ القوة الدافعة من اسفل الى اعلى في التأثير فان مركز ثقل العربة يرتفع به قليلا او كثيرا لكن متى زال المانع وهبطت عجلات العربة بعد الصعود فان اليايات للرافعة لصندوقها او وسقها تعيد مركز ثقلها الى ارتفاعه الاصلي بالنسبة الى العجلات

فعلى ذلك تعرض بواسطة تأثير اليايات لمركز ثقل العربات تحركات قليلة السرعة والمدة الى اعلى والى اسفل ويكون هذا التأثير ظاهرا جدا اذا قوبل بين رجات عربتين احدهما غير معلقة والاخرى معلقة بيايات لاسيما اذا عظمت سرعة العربة المتزايدة وليست فائدة التأثير المذكور مقصورة على مجرد تقليل تعب السياحين بل له فائدة اخرى اعظم من ذلك وهي انه يقي محصولات الصناعة المنقولة من التحركات السريعة والاصطدامات التي تضر تلك المنقولات وتبغض بقيمتها فاذا علقنا هذه محصولات على يايات لاهل ثقلها على العربات تحصل من ذلك فائدتان احدهما حفظ تلك محصولات حفظا تاما والثانية انه يكتفي في ثقلها قوة صغيرة جدا وقد اشتهرت هذه القواعد منذ سنوات وجرى عليها العمل قري بمدينة باريس جملة كبيرة من العربات معلقة على يايات ومعدة لنقل الاشياء السريعة التلف ولا زال استعمالها آخذا في الزيادة على مدى الايام لان له فائدتين احدهما قل الاثقال العظيمة بالخيول المعدة لذلك والثانية منع ضرر ما ينشأ عن ثقلها من العوارض

وليس لليايات مجرد هاتين الفائدتين اللتين هما تقليل ما يعطل سير العربات

وتقليل ما يعرض لاحالها من الاصطدامات بل لها ايضا فائدة اخرى وهي  
تقليل ما يعرض للعربات من الاصطدامات الشديدة او منعها بالكلية  
ثم ان مرونة الحبال تكسبها صلاحية لمقاومة الاصطدامات السريعة وتجعلها  
كاليابان كما يشاهد ذلك في الحبال المربوطة من احد طرفيها برأس الصاري  
ومن الطرف الاخر بجانب السفينة فاذا هبت الريح على حين غفلة واثرت  
في الشراعات بقوة جديدة فان الحبال الموجودة في جهة الهواء تمتد تدريجيا  
بواسطة تأثير هذه القوة الى النقطة التي تكون فيها المقاومة التدريجية الحاصلة  
من الحبال والمضايقة الى المقاومة المتزايدة الحاصلة من ثبات السفينة عند ميلها  
بتأثير الهواء متكافئة لقوة الهواء الدافعة ثم ان قصت هذه القوة الدافعة فان  
قوة مرونة الحبال تعيد هذه الحبال بالتدريج الى طولها الاصلى واما الصواري  
التي لمرونتها تمنح بمجردة الحبال فانها تعادل بواسطة هذه المرونة فيكون كل  
من الحبال والصواري قابلا لمقاومة جديدة اذا عاد الهواء الى تأثيره السريع  
ومن المهم جدا ان تمتد الحبال مدا قويا قبل استعمالها في اسناد الصواري  
كالجواغيص والاطراف وذلك لان تلك الحبال في مبداء استعمالها تكون  
عرضة للمد كثيرا بواسطة تأثير القوى الجاذبة في الجهة الطولية بدون ان تعود  
الى امتدادها الاصلى عند انقطاع تأثير هذه القوى ويلزم من مبداء الامر  
ان تمتد حتى تبلغ الغاية في المد قبل ان يحصل من قوة مرونتها ما يقصد منها  
بحال يمكن الوصول اليه فيما تستعمل لاجله

وقد شاهدت السفينة ذات الكوريات الثلاثة المسماة بتجارة باريس حين  
انكسرت صواريخها العليا بين جزيرة قرسقة وافريقة رداءة الهواء وقتئذ  
وكان من شأن ذلك ان تلك السفينة كانت قريبة عهد بالتطعيم فكانت صواريخها  
محسكة بحبال لم تبلغ في المدا المد الا لزم بحيث يكون لقوة مرونتها تأثير كئيب  
المقاومة الناقصة الكافية

واذا اريد وضع اهو ان تعلق في جوانب السفينة ليرى منها كل ذات اقبال  
صليح لزم لاجل تخفيف الاصطدام الحاصل عند رمي الكلة الدافع لها وان على

السفينة دفعا قويا بأن يهتم بوضع طبقة كثيفة من الاجسام المرنة على الكورينة  
ليقع عليها بالتدريج تأثير الضغط الحاصل من الهاون فتقي بذلك احساب  
السفينة على اختلاف انواعها من الخرق والتكسر  
فاذا وضع سندال على بناء صلب خال عن المرونة فان تأثير الاصطدامات  
المتوالية الحادثة من الضرب بالمطرقة على السندال يكسر الاجار الموضوع  
عليها هذا السندال في اقرب وقت فان حصل الاهتمام بوضع جسم مرن  
ككتله من خشب تحت السندال المذكور فان البناء الحامل لهذه الكتلة  
لا يلحقه التلف

واذا ضرب الصانع بمطرقة رأسها من  
الحادث من رأس المطرقة يوصل الى  
لا سيما في مثل اشغال الخحاس والسكك الحديدية  
متتالية على سطوح مرتجة فاذن يلزم الاهتمام بجعل قبضة الضاب الملتصق  
بجوه الموضوع في رأس المطرقة حتى لا يتأثر الموضوع بشيء من اهتزازها  
في مبداء الامر قليلة ثم تمتد شيئا فشيئا وبذلك تأخذ شدة في القوة والضعف  
على التدرج حتى ينتهي امرها الى أن الصانع لا يحس بها الا احساسا هينا  
والى هنا تم الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون \* في تطبيق الهندسة  
على الفنون \* على يد مصححه المستنصر بمولاه القوي \* الملتحق اليه تعالى محمد  
قطه العدوي \* بعدم مقابلته على اصله مع مقرجه \* ومعرب كله \* السيد صالح  
افندي وكان تحرير الفاظه الاصطلاحية \* ومعادلاته الجبرية \*  
بمعرفة حضرة محمد افندي بيومي وملاحظة حضرة ناظرهم الترجمة العلامة  
رفاعة افندي \* حيث كان التعويل في حل المشكلات عليه \* والمرجع  
في فلك المضلات اليه \* تحت ادارة حضرة مدير المدارس \* التي هي  
في الديار المصرية من اينع المقارس \* سعادة ميرالهاؤ ادهم بيك لازالت  
المدارس بانقاسه راقية في التجاح مراقي الفرق \* رافعة اكف  
الدعاء لولي التعم وانجالة بدوام السعادة والسود







